



جامعة حلب  
كلية الهندسة الميكانيكية  
قسم الميكانيك التطبيقي

## نمذجة التوازن الحراري في أحواض السباحة المكشوفة لتخفيض استهلاك الطاقة

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية

إعداد

المهندس حسان نحاس

حزيران – 2011 م



جامعة حلب  
كلية الهندسة الميكانيكية  
قسم الميكانيك التطبيقي

## نمذجة التوازن الحراري في أحواض السباحة المكشوفة لتخفيض استهلاك الطاقة

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية

إعداد

المهندس حسان نحاس

إشراف

الدكتور أحمد نحاس

أستاذ في قسم هندسة الطاقة في كلية الهندسة الميكانيكية بجامعة حلب

حزيران – 2011 م

**University of Aleppo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Applied Mechanics Department**



**Modeling Of The Heat Balance For Swimming Pools  
In Order To Reduce Energy Consumption**

**Research Prepared for Master of Sciences (MSc) degree in  
Mechanical Engineering**

**Prepared by**

**Eng. Hassan Nahhas**

**Supervisor**

**Dr. Eng. Ahmad Nahhas**

Dep. Power Engineering

Faculty of Mechanical Engineering

University of Aleppo

Jun/2011

**University of Aleppo  
Faculty of Mechanical Engineering  
Applied Mechanics Department**



**Modeling Of The Heat Balance For Swimming Pools  
In Order To Reduce Energy Consumption**

**Research Prepared for Master of Sciences (NSc) degree in  
Mechanical Engineering**

**Prepared by  
Eng. Hassan Nahhas**

**Jun /2011**



## شهادة

أشهد بأن العمل المقدم في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المرشح المهندس  
حسان نحاس طالب الماجستير في قسم الميكانيك التطبيقي في كلية الهندسة الميكانيكية بجامعة  
حلب بإشراف الدكتور أحمد نحاس الأستاذ في قسم هندسة الطاقة في كلية الهندسة الميكانيكية  
بجامعة حلب، وبأن المراجع المذكورة في هذه الرسالة موثقة في نص هذه الرسالة.

المشرف

المرشح

الدكتور أحمد نحاس

المهندس حسان نحاس

## تصريح

أصرح أن هذا البحث بعنوان:

نمذجة التوازن الحراري في أحواض السباحة المكشوفة لتخفيض استهلاك الطاقة

لم يسبق أن قَدِّم من قبل لأي شهادة ولا هو مقدم حالياً للحصول على شهادة أخرى.

المشرف

المرشح

الدكتور أحمد نحاس

المهندس حسان نحاس

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية

بمعنوان

نمذجة التوازن الحراري في أحواض السباحة المكشوفة لتخفيض استهلاك الطاقة

لجنة الحكم:

الدكتور أحمد نحاس

أستاذ في قسم هندسة الطاقة بكلية الهندسة الميكانيكية — جامعة حلب

الدكتور فاروق العبود

أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة بكلية الهندسة الميكانيكية — جامعة حلب

الدكتور علي كرنو

مدرس في قسم هندسة القوى بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية — جامعة تشرين

نوقشت هذه الرسالة وأجيزت يوم الثلاثاء الواقع في: 28 / رجب / 1432 هجرية  
والموافق: 28 / حزيران / 2011 ميلادية على مدرج الدكتور أحمد فيصل العمر في كلية  
الهندسة الميكانيكية.

## الفهرس

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 5 | ..... مقدمة               |
| 7 | ..... أهمية البحث وأهدافه |

## الفصل الأول

|    |  |
|----|--|
| 8  | ..... التوازن الحراري في أحوض السباحة المكشوفة     |
| 8  | 1-1 مفاهيم أساسية في انتقال الحرارة .....          |
| 8  | 1-1-1 انتقال الحرارة بالتوصيل .....                |
| 8  | 2-1-1 انتقال الحرارة بالحمل .....                  |
| 8  | 3-1-1 انتقال الحرارة بالإشعاع .....                |
| 8  | 4-1-1 المقاومة الحرارية .....                      |
| 9  | 5-1-1 الإصدارية (الإنبعائية) .....                 |
| 9  | 2-1 الموازنة الحرارية في حوض السباحة المكشوف ..... |
| 11 | 3-1 معدل ضياع الحرارة بالتبخر .....                |
| 13 | 4-1 معدل ضياع الحرارة بالحمل .....                 |
| 14 | 5-1 معدل ضياع الحرارة بالإشعاع .....               |
| 16 | 6-1 معدل ضياع الحرارة الناتج عن ماء التعويض .....  |
| 18 | 7-1 معدل ضياع الحرارة بالتوصيل .....               |
| 19 | 8-1 معدل الكسب الشمسي السلبي .....                 |

|    |   |
|----|---|
| 19 | 9-1 الطاقة المخزنة في الحوض.....                  |
| 20 | 10-1 الطاقة اللازمة للتسخين المساعد في الحوض..... |
| 20 | 11-1 الشروط المناخية للحوض.....                   |
| 21 | 12-1 سرعة الرياح.....                             |

## الفصل الثاني

|    |  |
|----|--|
| 23 | أساليب تخفيض استهلاك الطاقة في أحواض السباحة .....       |
| 23 | 1-2 مقدمة .....  |
| 23 | 2-2 تخفيض نفقات التشغيل .....                            |
| 24 | 1-2-2 اختيار حجم المضخة المناسب .....                    |
| 24 | 2-2-2 تدوير الماء .....                                  |
| 25 | 3-2 تخفيض ضياعات التبخر .....                            |
| 25 | 1-3-2 تغطية سطح الحوض .....                              |
| 26 | 2-3-2 تخفيض سرعة الرياح .....                            |
| 28 | 4-2 أنواع الأغشية الشمسية .....                          |
| 33 | 5-2 الموازنة الحرارية لحوض السباحة الخارجي المغطى .....  |
| 34 | 1-5-2 ضياع الحرارة بالتبخر .....                         |
| 35 | 2-5-2 ضياع الحرارة بالحمل .....                          |
| 36 | 3-5-2 ضياع الحرارة بالإشعاع .....                        |
| 38 | 4-5-2 ضياع الحرارة الناتج عن مياه التعويض .....          |
| 39 | 5-5-2 ضياع الحرارة بالتوصيل .....                        |
| 39 | 6-2 الطاقة المخزنة في الحوض المغطى .....                 |
| 39 | 7-2 الطاقة اللازمة للتسخين المساعد في الحوض المغطى ..... |

### الفصل الثالث

|    |   |
|----|---|
| 40 | ..... النمذجة الحاسوبية   |
| 40 | ..... 1-3 مفهوم النمذجة   |
| 41 | ..... 2-3 برنامج <i>EES</i>                                       |
| 41 | ..... 1-2-3 لمحة عن برنامج <i>EES</i>                             |
| 42 | ..... 2-2-3 القوائم الرئيسية للبرنامج                             |
| 46 | ..... 3-2-3 ملاحظات عند كتابة المعادلات في برنامج <i>EES</i> .... |
| 47 | ..... 4-2-3 نافذة كتابة المعادلات                                 |
| 47 | ..... 5-2-3 نظام وحدات العمل                                      |
| 48 | ..... 6-2-3 حل المعادلات غير الخطية                               |
| 50 | ..... 3-3 النمذجة الحاسوبية لحوض سباحة غير مغطى                   |
|    | ..... 4-3 كود البرنامج المصمم لدراسة نمذجة التوازن الحراري        |
| 52 | ..... لحوض السباحة المكشوف وبدون غطاء                             |
| 56 | ..... 5-3 النمذجة الحاسوبية لحوض سباحة مغطى                       |
|    | ..... 6-3 كود البرنامج المصمم لدراسة نمذجة التوازن الحراري        |
| 57 | ..... لحوض السباحة المكشوف مع غطاء                                |

### الفصل الرابع

|    |  |
|----|--|
| 62 | ..... النتائج والمناقشة  |
| 62 | ..... 1-4 نتائج التوازن الحراري لنموذج الحوض غير المغطى        |
| 65 | ..... 2-4 المخططات البيانية لنتائج النمذجة للحوض غير المغطى    |
| 73 | ..... 3-4 نتائج التوازن الحراري لنموذج الحوض المغطى            |
| 76 | ..... 4-4 المخططات البيانية لنتائج النمذجة لحوض السباحة المغطى |

- 88 5-4 تأثير ارتفاع فقاعة الهواء في غطاء حوض السباحة .....
- 89 6-4 تأثير إصدارية غطاء حوض السباحة .....
- 90 7-4 تأثير معامل نسبة ماء التجديد ( $f_{\text{makeup}}$ ) على درجة حرارة الحوض

### الفصل الخامس

- 92 الاستنتاجات والتوصيات .....
- 94 المراجع .....
- 96 الملحق .....

## مقدمة

تلعب الطاقة دوراً أساسياً في المجتمع حيث يعتبر مفهوم الطاقة ونظامها وعلاقتها مع المجتمع من القواعد الأساسية للتطور الديناميكي في أي بلد من بلدان العالم وذلك لأنها العصب الأساسي والمحرك الأول في سبيل تطور الحضارة والتقدم العلمي وفي سبيل التنمية الشاملة في مجالات الحياة المختلفة.

ففي العصر الحديث يشكل استثمار موارد الطاقة فناً وعلماً حيويًا لنمو المجتمع اقتصادياً واجتماعياً وثقافياً، ومن أجل الحفاظ على استمرار تنمية البلدان النامية والمنقذمة على حد سواء فلا بد من تطوير جميع مصادر الطاقة الحالية والحاجة الضرورية إلى مصادر مختلفة للطاقة والتي ستسهم في تلبية الطلب المتزايد على الطاقة وتحقيق الاكتفاء الذاتي من الطاقة وتجنب حدوث مشاكل اقتصادية كبيرة وبشكل خاص في البلدان النامية.

تعتبر أحواض السباحة وسيلة جيدة للتمرين ولتجاوز حرارة الصيف، كما أن بناء حوض السباحة المنزلي والحفاظ عليه وتدفعته يتطلب كلفة عالية نسبياً تضاف إلى ميزانية العائلة نظراً لكون مصدر الطاقة الطبيعية الداخلة إلى أحواض السباحة المكشوفة غير كافية لهذه الأحواض لكي تستخدم في معظم أشهر السنة بدون تسخين إضافي، أو تخفيض ضياعات هذه الطاقة.

يقوم العديد من أصحاب المسابح المكشوفة بتسخين أحواض مسابحهم لتمديد موسم السباحة، أو للحفاظ على درجة حرارة أحواضهم بحيث تكون مريحة لهم شخصياً وهذا يمكنهم من استثمار مسابحهم بشكل أفضل.

وتبين من خلال الدراسة النظرية أنه يوجد ثلاث طرق رئيسية لتخفيض ضياعات الطاقة ونفقات التشغيل لهذه المسابح، وهي:

- 1- تغطية سطح حوض السباحة.
- 2- تخفيض سرعة الرياح فوق سطح الحوض.
- 3- استخدام مضخات تسريع أصغر وبكفاءة أعلى وتشغيل هذه المضخات لفترة أقل في اليوم.

مما لا شك فيه أن استخدام الطاقة الكهربائية في تدفئة المسابح يعتبر من الناحية التشغيلية مكلفاً جداً، فالطاقة الكهربائية اللازمة لتدفئة كميات كبيرة من الماء والمحافظة على درجة حرارتها إلى الحد المناسب للسباحة يعتبر مرتفعاً بدرجة قد تحرم الكثيرين من أصحاب المسابح الخاصة من ممارسة السباحة والاستمتاع بها في معظم أوقات العام.

وقد كانت أكثر الأبحاث الملفتة للنظر هي أبحاث سيزرنك (Czarnecki) في استراليا<sup>[1,2]</sup>، والتي ركزت على توازن الطاقة في أحواض السباحة المكشوفة باستخدام بيانات الطقس القياسية.



## أهمية البحث وأهدافه

نظراً لارتفاع أسعار الوقود التقليدي بسبب ندرته ووضعه تحت النقيض فإن استخدام هذا الوقود من أجل أغراض الرفاهية أصبح أمراً غير مرغوباً به. لذلك تنامي الاهتمام بوسائل مختلفة لتسخين أحواض السباحة، والعمل على إيجاد حلول لتخفيض ضياعات الطاقة الحرارية من هذه الأحواض، فمثلاً يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية لتسخين أحواض السباحة والتي يمكن أن تكون مصدراً طبيعياً لتدفئة مياه المسابح والاستفادة منها لتشمل فصلي الربيع والخريف. تم إعداد نموذج رياضي باستخدام برنامج النمذجة *EES* (*Engineering Equation Solver*) لدراسة وتحديد مقدار الطاقة الشمسية السلبية المختزنة في مياه حوض السباحة، وحساب مقدار الضياعات الحرارية من مياه الحوض بالاعتماد على معادلات توازن الطاقة لأحواض السباحة المكشوفة وتحديد المتغيرات المؤثرة على ضياع هذه الطاقة لتحديد فترة موسم السباحة عند درجة حرارة مريحة للسباحة. تمت دراسة إحدى الطرق الأكثر شيوعاً من أجل تخفيض ضياعات الطاقة من الحوض وهي تغطية سطح الحوض، وبالتالي تحديد مقدار الزيادة في فترة موسم السباحة الناتجة عن تطبيق هذه الطريقة. كذلك تحديد مقدار التخفيض في كمية الطاقة اللازمة للتسخين المساعد والناتج عن تخفيض تلك الضياعات. لقد تم توثيق هذا النموذج بنمذجة حالة بقم عديدة في مدينة حلب وبالاعتماد على بيانات الطقس فيها.

## الفصل الأول

### التوازن الحراري في أحوض السباحة المكشوفة

#### 1-1 مفاهيم أساسية في انتقال الحرارة:

##### 1-1-1 انتقال الحرارة بالتوصيل:

هو انتقال الطاقة الحرارية من جزيئات الجسم الصلب الأسخن إلى الجزيئات الأقل سخونة والتي على تماس معها، نتيجة اختلاف درجة الحرارة بينها.

##### 1-1-2 انتقال الحرارة بالحمل:

هو انتقال الطاقة الحرارية بين سطح جسم ووسط سائل أو غازي متحرك، ويتم ذلك إما بشكل طبيعي نتيجة اختلاف في كثافة الوسط (حمل حر) أو نتيجة تحريك الوسط بمؤثر خارجي (حمل قسري).

##### 1-1-3 انتقال الحرارة بالإشعاع:

هو التحول من الطاقة الحرارية الداخلية في جسم ما إلى طاقة إشعاعية تنتقل عبر الفراغ لتصلطم بجسم آخر وتتحول من جديد إلى طاقة حرارية يمتصها الجسم المستقبل<sup>[20]</sup>.

##### 1-1-4 المقاومة الحرارية:

هي المقاومة التي يبديها العنصر الإنشائي أمام انتقال الحرارة بالتوصيل خلال سماكته، وبازدياد هذه المقاومة تزداد قدرة العنصر الإنشائي على مقاومة

الحرارة، كما يطلق على هذه القيمة مصطلح "العازلية الحرارية"، وتحسب بقسمة سماكة المادة (d) على موصليتها الحرارية ( $\lambda$ ) ووحدة قياسها ( $m^2.K/W$ ).

### 5-1-1 الإصدارية (الإبعائية):

هي نسبة الطاقة الإشعاعية التي يصدرها جسم ما درجة حرارته (t) إلى الطاقة الإشعاعية التي يصدرها الجسم الأسود ذو درجة الحرارة نفسها.

يعرف الجسم الأسود بأنه الجسم أو السطح الذي يمتص كامل الطاقة الإشعاعية الساقطة عليه كما يصدر أكبر طاقة إشعاعية مقارنة بما تصدره الأجسام الأخرى.

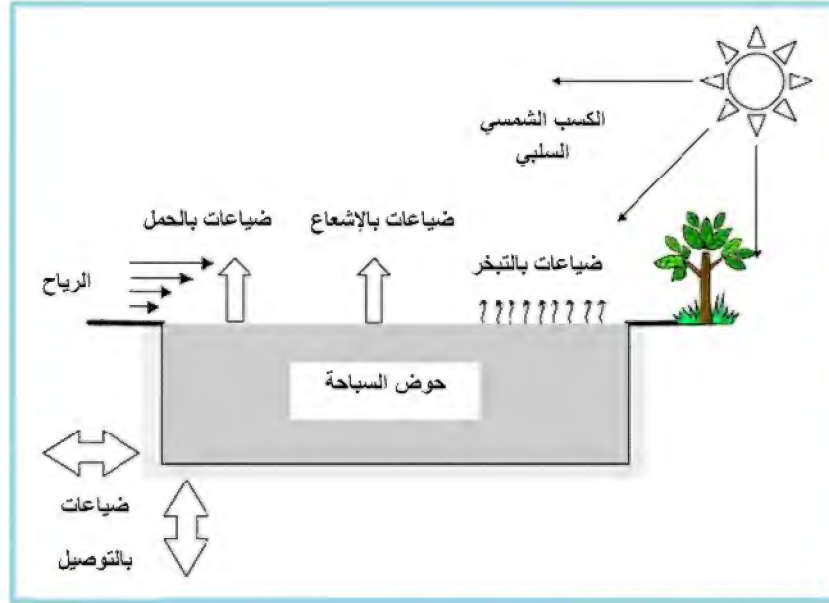
### 2-1 الموازنة الحرارية في حوض السباحة المكشوف:

يبين الشكل (1-1) نموذجاً لحوض سباحة منزلي مكشوف موضوع هذا البحث.



الشكل (1-1) نموذج لحوض سباحة منزلي مكشوف

تحدث الضياعات الحرارية من حوض السباحة الخارجي بالتبخير والإشعاع والحمل وذلك من سطح الماء، كما أنه يوجد مركبة محدودة للضياعات بالتوصيل عبر الأرضية والجدران، كما يكسب حوض السباحة بالمقابل طاقة حرارية من خلال الأشعة الشمسية الواردة إلى سطحه بالطريقة السلبية، كما هو مبين بالشكل (2-1).



الشكل (2-1) مخطط الكسب الشمسي السلبي والضياعات الحرارية لحوض سباحة مكشوف

إن معدل توازن الطاقة النهاري  $\dot{Q}_{tot,day}$  لحوض السباحة يعبر عنه كمجموع لكافة الضياعات الحرارية من الحوض مطروحاً منه الكسب الشمسي السلبي والنتاج عن سقوط أشعة الشمس على سطح الحوض.

$$\dot{Q}_{tot,day} = \dot{Q}_{eva,day} + \dot{Q}_{conv,day} + \dot{Q}_{rad,day} + \dot{Q}_{makeup,day} + \dot{Q}_{cond,day} - \dot{Q}_{pass} \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

كما أن معدل توازن الطاقة الليلي  $\dot{Q}_{tot,night}$  لهذا الحوض يعبر عنه كمجموع لكافة الضياعات الحرارية من الحوض فقط.

$$\dot{Q}_{tot,night} = \dot{Q}_{eva,night} + \dot{Q}_{conv,night} + \dot{Q}_{rad,night} + \dot{Q}_{makeup,night} + \dot{Q}_{cond,night} \dots (1-2)$$

وبالتالي فإن الموازنة الحرارية الكلية للحوض تعطى كما يلي:

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{tot,day} + \dot{Q}_{tot,night} \dots (1-3)$$

حيث:

$\dot{Q}_{eva}$  [W] معدل ضياع الحرارة بواسطة التبخر.

$\dot{Q}_{conv}$  [W] معدل ضياع الحرارة بالحمل.

$\dot{Q}_{rad}$  [W] معدل ضياع الحرارة بالإشعاع.

$\dot{Q}_{makeup}$  [W] معدل ضياع الحرارة نتيجة ماء التعويض.

$\dot{Q}_{cond}$  [W] معدل ضياع الحرارة بالتوصيل.

$\dot{Q}_{pass}$  [W] معدل انتقال الحرارة بالكسب الشمسي السلبي.

### 3-1 ضياع الحرارة بالتبخر:

إن معدل الضياع الحراري من حوض السباحة بواسطة التبخر يمكن أن يحسب على أساس معدل كتلة الماء المتبخرة من الحوض نهاراً وليلاً<sup>[5-3]</sup> بالعلاقة:

$$\dot{Q}_{eva,day} = A_p h_{e,day} [P_{v,sat} - P_{v,amb,day}] (1.2) \dots (1-4)$$

$$\dot{Q}_{eva,night} = A_p h_{e,night} [P_{v,sat} - P_{v,amb,night}] (1.2) \dots (1-5)$$

حيث:

$A_p$  [m<sup>2</sup>] مساحة سطح الحوض.

$h_e$  [W/m<sup>2</sup>.pa] معامل انتقال الكتلة بالتبخر.

$P_{v,sat}$  [Pa] الضغط الجزئي لبخار الماء المشبع عند درجة حرارة الحوض.

$P_{v,amb}$  [Pa] الضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة حرارة الوسط المحيط.

(1.2): عامل تصحيح يأخذ بعين الاعتبار زيادة التبخر الناتج عن نشاط السباحين في الحوض.

كما أن معامل انتقال الكتلة بالتبخر  $h_e$  يحسب من العلاقة<sup>[5-3]</sup>:

$$h_{e,day} = 0.05058 + 0.0669 V_{0.3(day)} \quad (1-6)$$

$$h_{e,night} = 0.05058 + 0.0669 V_{0.3(night)} \quad (1-7)$$

حيث:

$V_{0.3}$  [m/s] سرعة الرياح على ارتفاع (0.3 m) من سطح الحوض.

تؤخذ  $V_{0.3}$  بدلالة  $V_{10}$  سرعة الرياح المناخية والتي تقاس على ارتفاع (10 m) عن سطح الأرض، وتحسب بالعلاقة التالية<sup>[8]</sup>:

$$V_{0.3} = 0.3 V_{10} \quad (1-8)$$

أما:  $P_{v,sat}$  فيحسب من العلاقة التالية<sup>[11,6]</sup>:

$$P_{v,sat} = 10^5 \cdot \left[ \frac{0.004516 + 0.0007178 \cdot T_p}{-2.649 \cdot 10^{-6} \cdot T_p^2 + 6.944 \cdot 10^{-7} \cdot T_p^3} \right] \quad (1-9)$$

كما أن  $P_{v,amb}$  يحسب بدلالة الرطوبة النسبية (%) ( $\phi$ )

$$P_{v,amb,day} = \frac{P_{s,day} \phi}{100} \quad (1-10)$$

$$P_{v,amb,night} = \frac{P_{s,night} \phi}{100} \quad (1-11)$$

حيث:

( $P_s$ ) ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة الهواء ( $T_a$ )، ويحسب ( $P_s$ ) من

المعادلة (1-9) باستبدال درجة حرارة الماء ( $T_p$ ) بدرجة حرارة الهواء ( $T_a$ ) نهاراً وليلاً.

#### 4-1 ضياع الحرارة بالحمل:

تحتسب ضياعات الحمل الحراري والتي تذهب إلى الوسط المحيط بالحوض، نهراً و ليلاً كما يلي [2,5]:

$$\dot{Q}_{conv,day} = A_p h_{conv,day} (T_p - T_{a,day}) \quad \dots\dots\dots (1-12)$$

$$\dot{Q}_{conv,nigh} = A_p h_{conv,nigh} (T_p - T_{a,nigh}) \quad \dots\dots\dots (1-13)$$

حيث:  $h_{conv}$  [W/m<sup>2</sup>.K] معامل انتقال الحرارة بالحمل ويحسب بالعلاقة [2,5]:

$$h_{conv} = 3.1 + 4.1 V_{0.3} \quad \dots\dots\dots (1-14)$$

وتحسب درجة حرارة الهواء للوسط المحيط بالحوض كما يلي [2]:

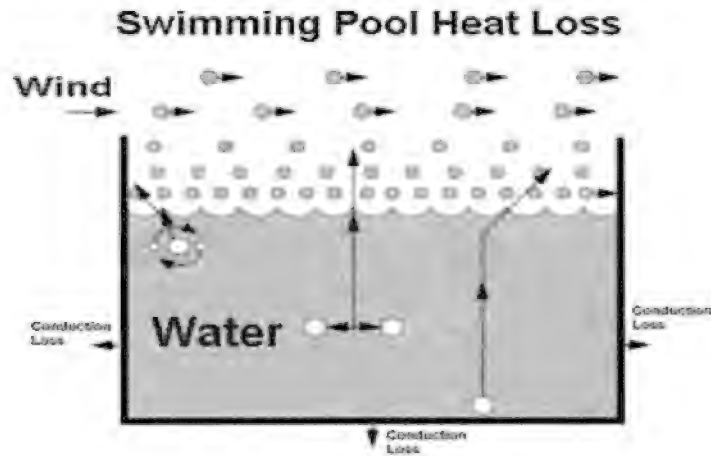
$$T_{a,day} = T_{a,max} - 0.2 \Delta T \quad \dots\dots\dots (1-15)$$

$$T_{a,night} = T_{a,min} + 0.3 \Delta T \quad \dots\dots\dots (1-16)$$

حيث:

$$\Delta T = T_{a,max} - T_{a,min} \quad \dots\dots\dots (1-17)$$

ونلاحظ أن ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير والحمل من حوض السباحة المكشوف يعتمد بشكل كبير على تأثير سرعة الرياح، كما في الشكل (3-1).



الشكل (3-1) تأثير الرياح على ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير والحمل

والعلاقات المستخدمة في الحسابات تعتمد على سرعة الرياح على ارتفاع (30 cm) من سطح الحوض، إلا أن بيانات الأرصاد الجوية تأخذ سرعة الرياح عادةً على ارتفاع (10 m)، ولذلك فإن عامل التصحيح يعتمد على التضاريس المحيطة بالحوض.

### 5-1 ضياع الحرارة بالإشعاع:

إن معدل ضياع الحرارة من الحوض المكشوف يتم عن طريق إشعاع الموجة الطويلة مع السماء، ويعتمد على مساحة سطح الحوض المكشوف إلى السماء، وتحسب ضياعات الحرارة بالإشعاع إلى الوسط المحيط نهاراً وليلاً كما يلي [7]:

$$Q_{rad,day} = A_p \varepsilon_w \sigma [(T_p)^4 - (T_{sky,day})^4] \quad \text{..... (1-18)}$$

$$Q_{rad,night} = A_p \varepsilon_w \sigma [(T_p)^4 - (T_{sky,night})^4] \quad \text{..... (1-19)}$$

حيث:

$\varepsilon_w$  إصدارية (انبعاثية) الماء من أجل الموجة الطويلة وتعرف بأنها نسبة الطاقة الإشعاعية التي يصدرها جسم ما درجة حرارته ( $T$ ) إلى الطاقة الإشعاعية التي يصدرها الجسم الأسود عند نفس درجة الحرارة، وتساوي هنا إلى (0.96) [2].

$\sigma$  ثابت بولتزمان ويساوي إلى ( $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$ )

$T_p$  [K]: درجة حرارة الحوض.

$T_{sky}$  [K]: درجة حرارة السماء وتستنتج من العلاقة التالية [7]:

$$L_{sky,day} = \sigma [T_{sky,day}]^4 \quad \text{..... (1-20)}$$

$$L_{sky,night} = \sigma [T_{sky,night}]^4 \quad \text{..... (1-21)}$$

حيث:



$L_{sky}$  هو إشعاع السماء، ويأخذ قيمة تتراوح بين القيم الغائمة والصافية وتحسب من العلاقة التالية:

$$L_{sky,day} = (1 - C) L_{clear,day} + C L_{cloudy,day} \quad \dots\dots\dots (1-22)$$

$$L_{sky,night} = (1 - C) L_{clear,night} + C L_{cloudy,night} \quad \dots\dots\dots (1-23)$$

$L_{clear}$ : إشعاع الموجة الطويلة لسماء صافية تحسب باستخدام صيغة (Swinbank's) [7] كما يلي:

$$L_{clear} = 5.31 \times 10^{-13} [T_{a,day}]^6 \quad \dots\dots\dots (1-24)$$

$$L_{clear} = 5.31 \times 10^{-13} [T_{a,night}]^6 \quad \dots\dots\dots (1-25)$$

ومن أجل سماء ملبدة بالغيوم فإن النموذج يفترض بأن درجة حرارة الغيوم تنقص (5) درجات عن درجة حرارة الوسط المحيط ( $T_a$ ) وبالتالي فإن  $L_{cloudy}$  إشعاع موجة طويلة لسماء غائمة يعطى بالعلاقة التالية:

$$L_{cloudy,day} = 0.96 \sigma [T_{a,day} - 5]^4 \quad \dots\dots\dots (1-26)$$

$$L_{cloudy,night} = 0.96 \sigma [T_{a,night} - 5]^4 \quad \dots\dots\dots (1-27)$$

C: نسبة السماء المغطاة بالغيوم وتحسب بالعلاقة:

$$C = \left( \frac{K_d - 0.165}{0.835} \right) \quad \dots\dots\dots (1-28)$$

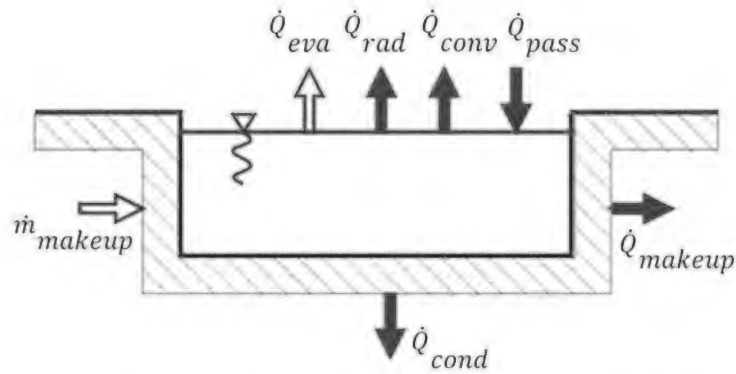
حيث:  $K_d$  نسبة الإشعاع اليومي الوسطي الشهري لسماء غائمة إلى الإشعاع اليومي الوسطي الشهري لسماء صافية.

ويحسب  $K_d$  بدلالة  $K_T$  دليل الإشراف (الوضوح) الشهري المأخوذ من بيانات الطقس لمدينة حلب:

$$K_d = 1.188 - 2.272 K_T + 9.473 K_T^2 - 21.865 K_T^3 + 14.648 K_T^4 \quad (1-29)$$

### 6-1 ضياع الحرارة الناتج عن ماء التعويض:

ينتج عن ضياعات التبخير ضرورة لتقديم ماء تعويض بالإضافة إلى ضياع الماء الناتج عن حركة السباحين بالحوض، مما يتطلب تقديم ماء جديد بدرجة حرارة تساوي درجة حرارة ماء الحوض، وبالتالي يجب تقديم كمية من الطاقة لهذا الماء، الشكل (4-1).



الشكل (4-1) مخطط توضيحي لتغذية حوض السباحة بماء التعويض

يحسب ضياع الحرارة الناتج عن ماء التعويض بالعلاقة التالية<sup>[8]</sup>:

$$\dot{Q}_{makeup,day} = \dot{m}_{makeup,day} c_p [T_p - T_c] \quad \dots\dots\dots(1-30)$$

$$\dot{Q}_{makeup,night} = \dot{m}_{makeup,night} c_p [T_p - T_c] \quad \dots\dots\dots(1-31)$$

حيث:

$c_p$ : السعة الحرارية للماء عند ضغط ثابت وتساوي  $(4.2 \frac{kJ}{kg.K})$ .

$T_c$ : درجة حرارة الماء البارد وتستخدم لحساب الطاقة الضرورية لتسخين الماء

إلى درجة الحرارة المطلوبة، وتحسب من العلاقة التالية:

$$T_c = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - \frac{T_{max} - T_{min}}{2} h \cos \left[ 2 \pi \left( \frac{n-2}{12} \right) \right] \dots\dots\dots(1-32)$$

حيث:

$T_{max}$ ،  $T_{min}$  درجة الحرارة الأصغرية والأعظمية على التوالي خلال العام،  
وبفرض أن درجة الحرارة الأصغرية تؤخذ في شهر شباط والأعظمية في شهر  
آب في نصف الكرة الشمالي (الحالة معاكسة لنصف الكرة الجنوبي)  
 $n$  رقم الشهر المدروس.

$h$  ثابت يتعلق بالموقع الجغرافي، ويساوي  $1/$  في نصف الكرة الشمالي.

$$\dot{m}_{makeup,day} = \dot{m}_{eva,day} + f_{makeup} \frac{\rho V_p}{7 \times 3600 \times N_{daylight}} \dots\dots\dots(1-33)$$

$$\dot{m}_{makeup,night} = \dot{m}_{eva,night} + f_{makeup} \frac{\rho V_p}{7 \times 3600 \times (24 - N_{daylight})} \dots\dots\dots(1-34)$$

حيث:  $\rho$  الكتلة النوعية للماء، ( $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) وذلك على اعتبار أن الماء  
غير قابل للانضغاط ذو كتلة نوعية ثابتة.

$V_p$  حجم الحوض.

ويحسب حجم الحوض بدلالة مساحة سطح الحوض وبافتراض العمق الوسطي له  
يساوي ( $1.5 \text{ m}$ ) أي أن:

$$V_p = 1.5 A_p \dots\dots\dots(1-35)$$

$f_{makeup}$  نسبة ماء التعويض المدخلة إلى الحوض، ويعبر عنها كجزء من  
حجم الحوض المجدد كل أسبوع.

$\dot{m}_{eva} [\text{kg/s}]$  معدل تبخر الماء من الحوض ويحسب وفق العلاقة التالية:

$$\dot{m}_{eva} = \frac{\dot{Q}_{eva}}{\lambda} \dots\dots\dots(1-36)$$

حيث:  $\lambda$  الحرارة الكامنة لتبخّر الماء وتساوي ( $2454 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ).

### 7-1 ضياع الحرارة بالتوصيل:

تحدث الضياعات الحرارية من أحوض السباحة بالتوصيل عبر الجدران والأرضية كما بالشكل (1-5)، وتعطى هذه الضياعات بالعلاقة التالية:

$$\dot{Q}_{cond} = k (A + A_w) [T_p - T_g] \quad \dots\dots\dots(1-37)$$

حيث:  $k (W/m^2 \cdot K)$  عامل انتقال الحرارة الإجمالي بين ماء الحوض والأرضية.

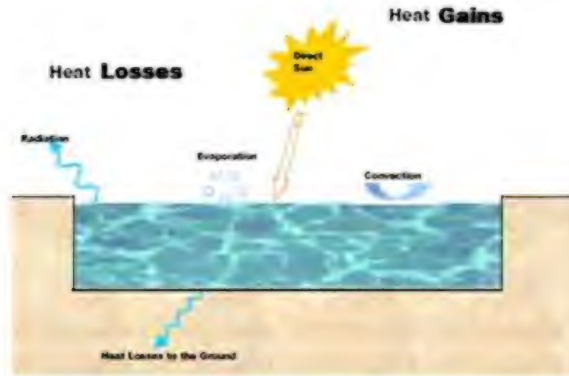
$A_w (m^2)$  مساحة جدران الحوض.

$T_g (K)$  درجة حرارة الأرض.

ومن أجل المسابح المكشوفة وبوجود العزل الجيد لجدران وأرضية الحوض فإن هذه الضياعات يكون لها تأثير بسيط على مقدار الطاقة الاجمالي، وبالتالي يؤخذ مقدار ضياع الطاقة الحرارية بالتوصيل عادة كنسبة مئوية تقدر بـ (3-5 %) من مجموع ضياعات الطاقة الكلية<sup>[5]</sup>:

$$\dot{Q}_{cond,day} = 0.05 [\dot{Q}_{eva,day} + \dot{Q}_{conv,day} + \dot{Q}_{rad,day} + \dot{Q}_{makeup,day}] \quad \dots\dots\dots(1-38)$$

$$\dot{Q}_{cond,night} = 0.05 [\dot{Q}_{eva,night} + \dot{Q}_{conv,night} + \dot{Q}_{rad,night} + \dot{Q}_{makeup,night}] \quad \dots\dots\dots(1-39)$$



الشكل (1-5) الريح والضياع الحراري لحوض سباحة مكشوف

### 8-1 الكسب الشمسي السلبي:

إن معدل الكسب الحراري من الإشعاع الشمسي على سطح أفقي من أجل مسبح مكشوف للهواء الخارجي يعطى بالعلاقة التالية<sup>[9]</sup>:

$$\dot{Q}_{pass} = \alpha A_p S_t \quad \dots\dots\dots(1-40)$$

حيث:

$S_t$  [W/m<sup>2</sup>]: شدة الإشعاع الشمسي الوسطي الشهري الساقط على سطح أفقي.

$\alpha$ : معامل الامتصاصية للماء، ويوضح الجدول (1-1) امتصاصية ماء

حوض السباحة  $\alpha$  كتابع لعمق الحوض ولون بورسلان الحوض<sup>[10]</sup>.

الجدول (1-1) معامل امتصاصية الماء ( $\alpha$ ) في أحواض السباحة

| $\alpha$    |             |             |             | لون البورسلان |
|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| العمق 2.0 m | العمق 1.5 m | العمق 1.0 m | العمق 0.5 m |               |
| 0.85        | 0.83        | 0.79        | 0.73        | أبيض          |
| 0.91        | 0.90        | 0.87        | 0.84        | أزرق فاتح     |
| 0.97        | 0.96        | 0.95        | 0.93        | أزرق غامق     |

### 9-1 الطاقة المخزنة في الحوض:

من أجل التوازن الكلي للطاقة، فإن اختلاف درجة حرارة الحوض بين الشروط البدائية والنهائية يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار، وبالتالي فإن كمية الحرارة  $(Q_t)$  المخزنة شهرياً في حوض السباحة يمكن أن تكتب بالعلاقة التالية:

$$Q_{t,day} = \dot{Q}_{tot,day} 30 N_{daylight} 3600 \quad \dots\dots\dots(1-41)$$

$$Q_{t,night} = \dot{Q}_{tot,night} 30 (24 - N_{daylight}) 3600 \quad \dots\dots\dots(1-42)$$

حيث:

$N_{daylight}$ : عدد ساعات سطوع الشمس باليوم.

$$Q_t = Q_{t,day} + Q_{t,night} \quad \dots\dots\dots(1-43)$$

ومنه فإن درجة حرارة الحوض الشهرية يمكن أن تحسب بالاعتماد على كمية الحرارة الشهرية المخزنة بالحوض من العلاقة التالية<sup>[12]</sup>:

$$Q_t = c_p \rho_l V_p [T_p - T_c] \quad \dots\dots\dots(1-44)$$

### 10-1 الطاقة اللازمة للتسخين المساعد في الحوض:

إن مقدار كمية الحرارة  $Q_{req}$  اللازمة للتسخين المساعد من أجل المحافظة على درجة الحرارة المطلوبة في الحوض (المريحة للسباحة  $27^\circ C$ ) يمكن إيجاده من العلاقة التالية:

$$Q_{req} = C_p \rho_l V_p [27 - T_p] \quad \dots\dots\dots(1-45)$$

### 11-1 الشروط المناخية للحوض:

إن كمية الحرارة المفقودة من الحوض تعتمد على عدة عوامل وهي:

- درجة حرارة الجو المحيط.
- درجة حرارة ماء الحوض.
- الرطوبة النسبية.
- الضغط الجوي.
- سرعة الرياح.

ومن أجل أحواض السباحة المكشوفة فإن الشروط المناخية تؤخذ من الأرصاد الجوية.

## 12-1 سرعة الرياح:

نقاس سرعة الرياح في أكثر الأحيان عند ارتفاع (10 m)، وقد تتغير هذه السرعة عند الانتقال إلى مناطق أكثر ارتفاعاً، كما أن للهضاب والمرتفعات وقمم الجبال تأثيراً واضحاً على سرعة الرياح، وفي المواقع المعرضة بشكل مباشر للرياح، فإن سرعة الرياح يمكن أن ترتفع إلى ما يعادل الضعف، وبالعكس عند الجهة التي لا تواجه الرياح يمكن توقع انخفاض واضح في سرعة الرياح، ويمكن أن يؤدي وجود أجسام أو نباتات أو عدم انتظام في مستوي الأرض إلى كبح شديد في سرعة الرياح.

ويمكن حساب سرعة الرياح  $V(h_2)$  عند الارتفاع  $(h_2)$  عن طريق ما يسمى "بروفيل الطبقة الحدية اللوغاريتمي" وطول تموج الأرض  $(Z_0)$  وذلك من سرعة الرياح  $V(h_1)$  عند الارتفاع  $(h_1)$  حسب العلاقة التالية<sup>[8]</sup>:

$$V(h_2) = V(h_1) \frac{\ln\left(\frac{h_2-d}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1-d}{Z_0}\right)} \quad \dots\dots\dots(1-46)$$

وقد تسبب العوائق إزاحة للطبقة الحدية من الأرض، وهذه الإزاحة تتم مراعاتها بواسطة المقدار  $d$  ، وعندما تكون العوائق متبعثرة تصبح قيمة  $d$  مساوية للصفر، وإلا تقدر قيمة  $d$  بـ 70% من ارتفاع العائق<sup>[8]</sup>.

وطول تموج الأرض  $Z_0$  يعطي الارتفاع الذي تُكبح عنده الرياح وتصبح السرعة صفراً، وهذا يعني أنه كلما زاد طول التموج، كلما أصبح التأثير على الرياح أكبر، أي أن سرعة الرياح تنخفض بوضوح بازدياد طول التموج  $Z_0$  الجدول (1- 2).

الجدول (2-1) طول التموج  $Z_0$  وفق توزيع Davenport

| المنطقة وفق تقسيم Davenport | طول التموج $Z_0$ بالم m | وصف السطح الخارجي                         |
|-----------------------------|-------------------------|---|
| بحر                         | 0.0002                  | بحر مفتوح                                 |
| أرض مستوية                  | 0.005                   | شواطئ المد والجزر                         |
| أرض مفتوحة                  | 0.03                    | منطقة مستوية مفتوحة                       |
| مفتوحة إلى وعرة             | 0.1                     | منطقة زراعية ذات أشجار قليلة              |
| منطقة متموجة                | 0.25                    | منطقة زراعية ذات أشجار كثيرة              |
| منطقة شديدة التموج          | 0.5                     | مواقف سيارات فيها زهور وشجيرات            |
| مغلقة                       | 1                       | غابات، قرى، ضواحي                         |
| مركز مدينة                  | 2                       | مراكز المدن ذات المباني العالية والمنخفضة |

كما يمكن بطريقة أخرى أن نعالج بروفيل الطبقة الحدية، وهي العلاقة الأسية لـ Hellmann<sup>[8]</sup>.

باعتبار أن:

$$z = \sqrt{h_1 h_2} \quad \dots\dots\dots(1-47)$$

$$\alpha = \frac{1}{\ln \frac{z}{z_0}} \quad \dots\dots\dots(1-48)$$

$$\frac{V(h_2)}{V(h_1)} = \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad \dots\dots\dots(1-49)$$



## الفصل الثاني

### أساليب تخفيض استهلاك الطاقة في أحواض السباحة

#### 2-1 مقدمة:

أظهرت الدراسات أنه يمكن تخفيض نفقات التشغيل وكذلك توفير الطاقة والمحافظة على درجة الحرارة المريحة للسباحة من خلال طرق عديدة، كاستخدام مضخات أصغر عالية الكفاءة وتشغيل هذه المضخات لفترة أقل في اليوم، كما أن فقدان الحرارة الرئيسي من حوض السباحة يكون بالتبخر أثناء النهار، وبواسطة إشعاع الموجة الطويلة أثناء الليل، وهذه الضياعات يمكن تخفيضها بشكل فعال، وبالتالي رفع درجة حرارة ماء الحوض.

وقد تبين من الدراسة النظرية أنه يوجد طريقتين رئيسيتين لتخفيض هذه الضياعات<sup>[18]</sup>:

2-1-1 تغطية سطح حوض السباحة وبالتالي تخفيض مقدار الضياعات

الحرارية من حوض السباحة.

2-1-2 تخفيض سرعة الرياح.

#### 2-2 تخفيض نفقات التشغيل:

هناك عدة طرق تؤدي إلى تخفيض نفقات التشغيل وتكاليف الصيانة،

كتخفيض استهلاك الماء والحفاظ على حرارة مياه المسبح عند تسخينه.

## 2-2-1 اختيار حجم المضخة المناسب:

يقوم مالك الحوض أحياناً بتركيب مضخة للحوض أكبر من اللازم معتقداً أن الأكبر هي الأفضل، إلا أن استخدام المضخة الأكبر يمكن أن يزيد تكاليف الضخ والصيانة.

ولاختيار الحجم الصحيح للمضخة يجب الرجوع للمخططات التصميمية التي تلائم المميزات الهيدروليكية للمضخة في كل من الأنابيب وخصائص تدفق ماء الحوض، فالمضخات الأصغر (ذات الكلفة الأقل) يمكن أن تستعمل إذا خفّضنا المقاومة الهيدروليكية لنظام دوران ماء الحوض، وهذا يمكن تحقيقه من خلال الطرق التالية<sup>[16]</sup>:

- 1- استبدال الفلتر بأكبر، والذي معدلته على الأقل أكبر بـ 50% من معدل تدفق الحوض المصمم.
  - 2- زيادة قطر أو إنقاص طول الأنابيب.
  - 3- استبدال وصلات الأنابيب بزاوية 45 درجة بدلاً من 90 درجة ، أو استخدام أنبوب مرن.
- وقد أظهرت الدراسات أن هذه التبديلات يمكن أن تخفض حتى 40% من استهلاك المضخة للكهرباء.

## 2-2-2 تدوير الماء:

هناك طريقة أخرى لتوفير الطاقة وهي بتخفيض زمن تشغيل المضخة، لأن مضخة الحوض في أغلب الأحيان تعمل أكثر بكثير من الزمن الضروري للتشغيل.

إن السبب الكامن وراء تدوير الماء بالأحواض هو لتحسين المزج الكيميائي فيها، وإن هذا التدوير ضروري مادام هناك إضافة المواد الكيميائية للحوض، ويجب أن تمزج هذه المواد بأقل تدوير يومي ممكن.

كما أن تدوير الماء يبقي الحوض خالياً من الأوساخ والمعلقات بسحب الماء خارج وخلال الفلتر، إلا أنه ليس من الضروري أن نعيد تدوير الماء بشكل كامل كل يوم لكي نزيل هذه الشوائب، فيأخذ عادة التدوير الكامل لماء الحوض زمناً مقداره من 6/ إلى 12/ ساعة باليوم، وهذا الزمن يمكن أن يكون أطول من الضروري لأن معظم النفايات إما أن تطفو أو تغوص ويمكن إزالتها إما بالقشط أو بالشطف، وهكذا فإنه وبعد ساعة من بدء تدوير ماء الحوض فإن معظم طاقة الضخ تبذل بتدوير الماء التنظيف، إضافة إلى أن التدوير الأطول ليس ضرورياً لكي نخفف من نمو الطحالب، حيث يمكن التخلص من هذه الطحالب باستخدام بعض المواد الكيميائية بالماء، وكذلك تنظيف جدران الحوض.

وقد أظهرت الدراسات أن تخفيض فترة الضخ إلى 3/ ساعات يومياً يعطي نتائج مرضية لمالكي الأحواض، حيث يوفر هذا التخفيض وسطياً (60%) من فاتورة الكهرباء المصروفة على الضخ.

كما أن هناك معيار آخر بسيط لتوفير النقود وهو استخدام مؤقت دقيق للتحكم بدوران المضخة، إذ يمكن بذلك تشغيل المضخة لفترات محددة كل يوم<sup>[16]</sup>.

## 2-3 تخفيض ضياعات التبخر:

### 2-3-1 تغطية سطح الحوض:

إن استخدام الغطاء الشمسي في تغطية سطح حوض السباحة، كان الأكثر نجاحاً لأنه أدى إلى تخفيض كبير في ضياعات التبخر واشعاع الموجة الطويلة، ونسبة هذا التخفيض اعتمدت على:

1- نسبة سطح الحوض المغطى.

2- سماكة ونوع مادة الغطاء المستخدم.

3- زمن التغطية<sup>[17]</sup>.

وعلى الرغم من أن تغطية الحوض يتطلب عملاً إضافياً، إلا أن التغطية هي الطريقة الأرخص لإبقاء ماء الحوض دافئاً، والتقليل من كمية الماء المفقودة عن طريق التبخر الشكل (1-2).

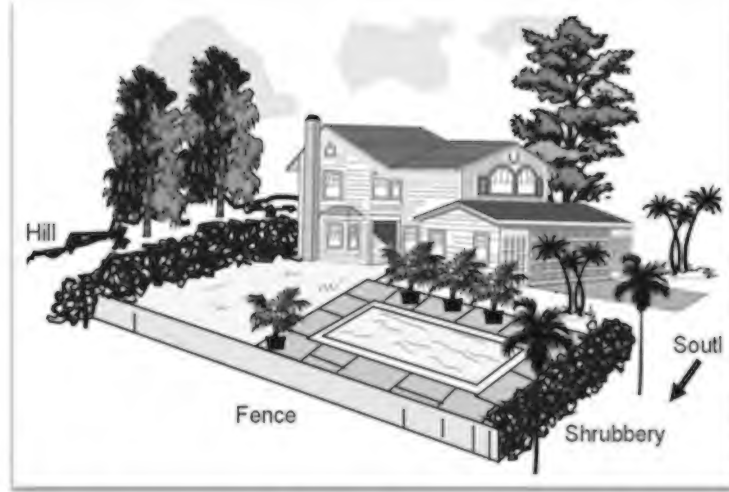


الشكل (1-2) نموذج لتغطية حوض السباحة

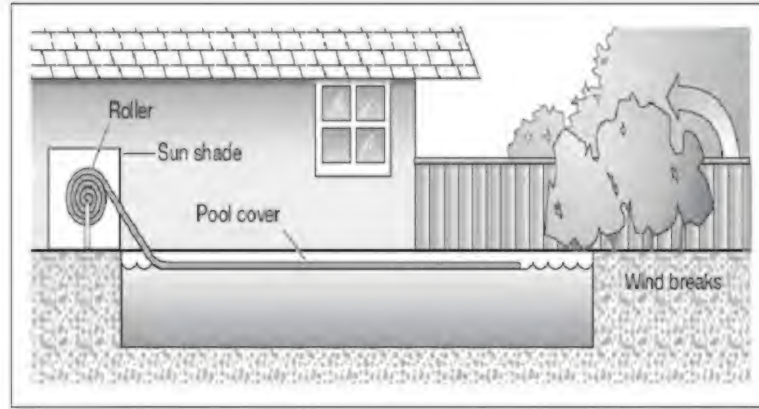
### 2-3-2 تخفيض سرعة الرياح:

إن تخفيض سرعة الرياح هي طريقة فعالة للتقليل من ضياعات التبخر والحمل، وبالتالي فإن مصدات الرياح المُشكَّلة من الأشجار والشجيرات وحتى السياج يمكن أن تخفّض بشكل ملحوظ من تدفق الهواء على مستوى سطح حوض السباحة، وبالتالي فإن ضياعات التبخر يمكن أن تتخفّض بحوالي 60% مما هو عليه بدون مصدات للرياح، وهكذا فإن إعادة ترتيب تضاريس الأرض يمكن أن يساهم إلى حدٍ ما بزيادة درجة حرارة حوض السباحة، وعلاوة على ذلك فإن المصد يفضل أن يكون عالياً وقريباً من الحوض بشكل كافٍ، بحيث يمنع الرياح

من العبور إلى سطح الحوض، ولا يمنع الطاقة الشمسية المفيدة من العبور إلى ماء الحوض كما في الأشكال (2-2) و(3-2).



الشكل (2-2) مخطط توضيحي لمصدات الرياح حول حوض السباحة



الشكل (3-2) مخطط استخدام الغطاء ومصدات الرياح في حوض السباحة

## 4-2 أنواع الأغطية الشمسية:

إن أغطية أحواض السباحة يجب تركيبها واستخدامها تبعاً لتوجيهات الشركة الصانعة، كما يجب أن تتصف بسهولة التركيب والنزع مع الأخذ بعين الاعتبار إمكانية استخدامها من قبل غير الأخصائيين. لذلك يجب أن يكون هناك سهولة في تركيب الغطاء فوق الحوض، وكذلك سهولة في إزالته عندما نريد تخزين هذا الغطاء متى نشاء الشكل (4-2).



الشكل (4-2) تخزين غطاء حوض السباحة

هناك أنظمة مختلفة لتركيب وإزالة الغطاء، فمنها يتم عن طريق جهاز ميكانيكي يدوي أو عن طريق محرك كهربائي، الأشكال (5-2) و (6-2).



الشكل (a-5-2) جهاز ميكانيكي يدوي لوضع وإزالة الغطاء



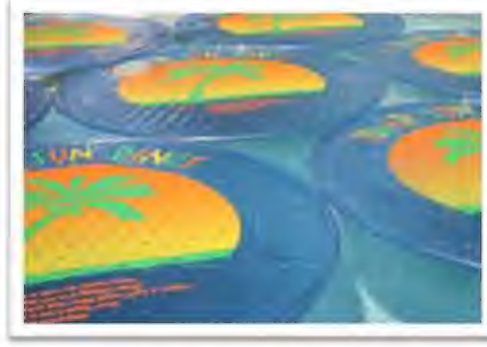
الشكل (b-5-2) الآلية اليدوية لوضع وإزالة غطاء حوض السباحة



الشكل (6-2) الآلية الكهربائية لوضع وإزالة غطاء حوض السباحة

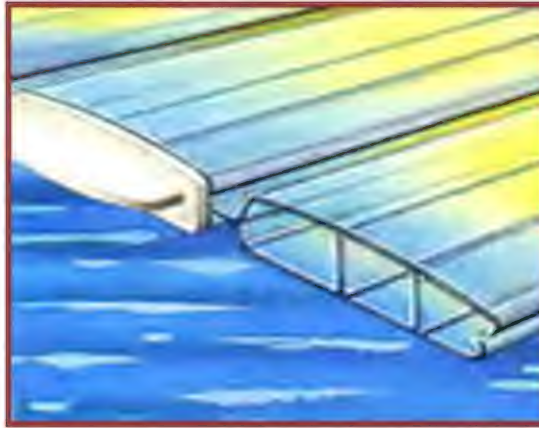
يوصى في أحواض السباحة باستخدام أغطية رقيقة ذات انعكاسية منخفضة وذات ناقلية حرارية منخفضة، وذلك لرفع درجة حرارة ماء الحوض، وهذا النوع من أغطية الحوض يطلق عليه عادةً اسم الأغطية الشمسية ( البطانيات الشمسية) الشكل (7-2).





الشكل (7-2) حلقات شمسية على سطح حوض السباحة

إن أحد أنواع الأغشية الشمسية والذي ينصح باستخدامه بشكل أساسي في الليل يكون مصنوعاً من عازل رغوي (الفوم) والذي يملك خاصية مرغوب بها في الليل، ولا ينصح باستخدامه في النهار لأنه يمنع عبور الإشعاع الشمسي إلى الحوض الشكل (b-a-8-2) <sup>[19]</sup>.



الشكل (a-8-2) نموذج لشفرات الغطاء التي تحقن بالفوم





الشكل (b-8-2) نموذج لتغطية الحوض بالفوم

أما النوع الآخر من هذه الأغشية فيكون مصنوع من رقائق بلاستيكية تحتوي على فقاعات هوائية، ولكن هذه الرقائق لاتعزل بشكل جيد كما في النوع الأول (الفوم)، كما أنها تملك ناقلية حرارية منخفضة نوعاً ما، بالإضافة إلى أنها تسمح بعبور 60% من الإشعاع الشمسي عند زوايا شمسية منخفضة، وإلى 80% عند زوايا شمسية مرتفعة الشكل (b-a-9-2) <sup>[21]</sup>.

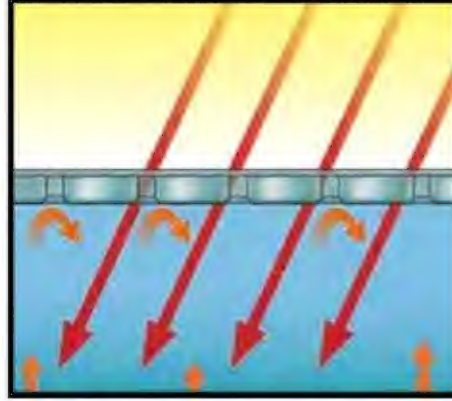


الشكل (b-9-2)



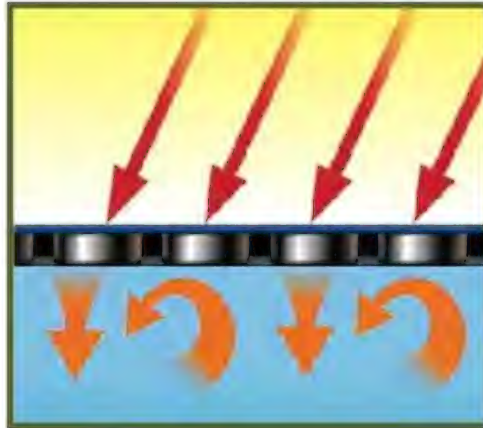
الشكل (a-9-2)

وعليه نجد أن استخدام الغطاء الشفاف نهاريًا يقلل من كمية امتصاص الطاقة الشمسية بمقدار من (10-15) % الشكل (10-2).



الشكل (10-2) الغطاء الشفاف في حوض السباحة

أما الغطاء الكثيم فيمكن أن يخفف من كمية امتصاص الطاقة الشمسية بمقدار من (20-40) % الشكل (11-2) [21].



الشكل (11-2) الغطاء الكثيم في حوض السباحة

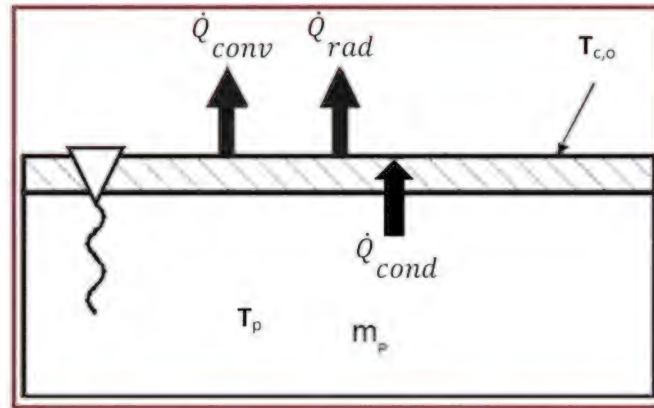
وهناك نوع آخر من الأغشية تصنع من مواد أثقل وتدعى أغشية الفينيل، ويمكن استخدام أغشية الفينيل بطبقة رقيقة من عازل مرن محصورة بين طبقتين من الفينيل الشكل (12-2).



الشكل (12-2) تركيبة غطاء الفينيل

## 5-2 الموازنة الحرارية لحوض السباحة الخارجي المغطى:

إن (85%) تقريباً من فقدان الحرارة لجميع الأحواض يحدث عند السطح، وغالباً عن طريق التبخر إلى الهواء، وبالإشعاع إلى السماء، وتغطية الحوض هي وسيلة جيدة للحفاظ على الحرارة والماء في الحوض، وذلك بتخفيض تبخر الماء من الحوض عندما لا يكون مستخدماً، وكذلك تخفيض ضياع الحرارة الإشعاعية. في نمذجتنا البرمجية سنفترض أن الغطاء يستخدم أثناء الليل فقط ويزاح أثناء النهار، وبالتالي فإن كمية الطاقة المختزنة في حوض السباحة خلال النهار تبقى ثابتة، أما كمية الطاقة المختزنة خلال الليل فتتغير عما هي عليه في حال كون حوض السباحة غير مغطى، والشكل (13-2) يوضح الدراسة التخطيطية لجميع معدلات ضياع الحرارة من الحوض.



الشكل (13-2) ضياعات الطاقة الحرارية من الحوض بوجود الغطاء

وبالتالي يمكن كتابة معادلات توازن الطاقة النهارية (عند رفع الغطاء)،  
والليلية (عند وضع الغطاء)، والطاقة الكلية لحوض سباحة مغطى على الترتيب  
وفق المعادلات التالية:

$$\dot{Q}_{tot,off} = \dot{Q}_{eva,off} + \dot{Q}_{conv,off} + \dot{Q}_{rad,off} + \dot{Q}_{makeup,off} + \dot{Q}_{cond,off} - \dot{Q}_{pass} \quad \dots\dots\dots(2-1)$$

$$\dot{Q}_{tot,on} = \dot{Q}_{cond,c,on} + \dot{Q}_{cond,w,on} + \dot{Q}_{makeup,on} \quad \dots\dots\dots(2-2)$$

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{tot,off} + \dot{Q}_{tot,on} \quad \dots\dots\dots(2-3)$$

حيث:  $\dot{Q}_{tot,off}$ : الطاقة الكلية المختزنة بالحوض خلال النهار عندما يكون  
الحوض غير مغطى.

$\dot{Q}_{tot,on}$ : الطاقة الكلية المختزنة بالحوض خلال الليل عندما يكون  
الحوض مغطى.

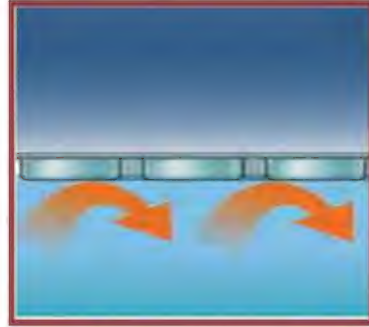
## 2-5-1 ضياع الحرارة بالتبخر:

إن معدل الضياع الحراري بواسطة التبخر من حوض السباحة المغطى  
ليلاً، يحدث فقط خلال النهار عندما يكون الغطاء مرفوعاً، الأشكال (2-14-a,b)



الشكل (2-14-a)

تبخّر الماء من الحوض غير المغطى



الشكل (2-14-b)

منع تبخّر الماء بوجود الغطاء

ويعطى معدل الضياع الحراري بواسطة التبخر بالعلاقة التالية:

$$\dot{Q}_{eva,off} = A_p h_{e,off} [P_{v,sat} - P_{v,amb,day}] \quad (1.2) \quad \dots\dots\dots(2-4)$$

حيث:

$$h_{e,off} = h_{e,day} [W/m^2.pa]$$

معامل انتقال الكتلة بالتبخر نهاراً، ويحسب من العلاقة (1-6).

$$P_{v,sat} [Pa]$$

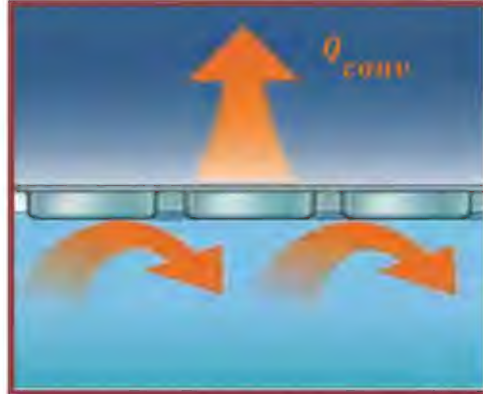
الضغط الجزئي لبخار الماء المشبع عند درجة حرارة الحوض، ويحسب من العلاقة (1-9).

$$P_{v,amb,day} [Pa]$$

الضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة حرارة الوسط المحيط نهاراً، ويحسب من العلاقة (1-10).

## 2-5-2 ضياع الحرارة بالحمل:

إن تغطية سطح حوض السباحة يخفّض من المعدل الكلي لضياع الحرارة بالحمل، حيث يبقى معدل ضياع الحرارة بالحمل ثابتاً خلال النهار عندما يكون الغطاء مرفوعاً، وتتنخفض قيمته خلال الليل عندما يكون الحوض مغطى، وفي هذه الحالة يتم ضياع الحرارة بالحمل بين سطح الغطاء الخارجي والوسط المحيط بالحوض، الشكل (2-15).



الشكل (2-15) ضياع الحرارة بالحمل من سطح الغطاء الخارجي إلى الوسط المحيط



ويعطى معدل ضياع الحرارة بالحمل: النهاري (عند رفع الغطاء)، والليلي (عند وضع الغطاء)، والكلّي، بالمعادلات التالية:

$$\dot{Q}_{conv,off} = A_p h_{conv,off} (T_p - T_{a,off}) \quad \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\dot{Q}_{conv,on} = A_p h_{conv,on} (T_{c,o} - T_{a,night}) \quad \dots\dots\dots(2-6)$$

حيث:

$h_{conv,off}$ ،  $h_{conv,on}$ : معامل انتقال الحرارة بالحمل النهاري والليلي وبحسب بالعلاقة التالية:

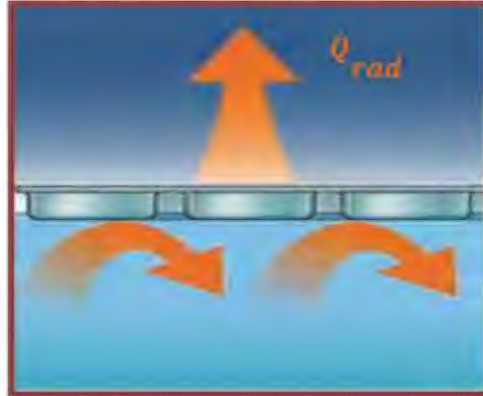
$$h_{conv,off} = 3.1 + 4.1 V_{0.3(off)} \quad \dots\dots\dots(2-7)$$

$$h_{conv,on} = 3.1 + 4.1 V_{0.3(on)} \quad \dots\dots\dots(2-8)$$

$T_{c,o}$ : درجة حرارة سطح الغطاء الخارجي الملامس للوسط المحيط.

### 2-5-3 ضياع الحرارة بالإشعاع:

تم حساب ضياع الحرارة من الحوض الناتج عن اشعاع موجة طويلة، باعتباره يتألف من جزئين: نهاري (عند رفع الغطاء)، وليلي (عند وضع الغطاء)، وقد اعتبرنا أن ماء الحوض تحت الغطاء يعامل كسطح إشعاعي فعال.



الشكل (2-16) ضياع الحرارة بالإشعاع من سطح الغطاء الخارجي إلى الوسط المحيط

وبالتالي فإن معدل ضياع الحرارة بالإشعاع يعطى بالمعادلات التالية:

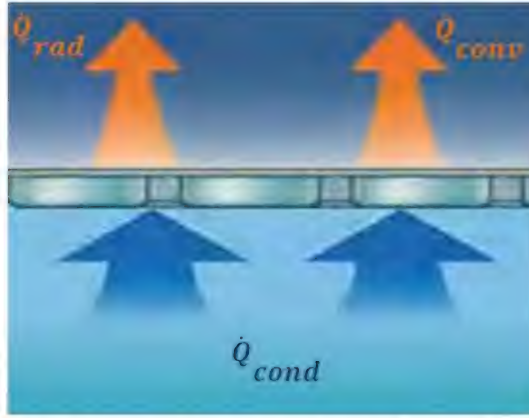
$$\dot{Q}_{rad,off} = A_p \varepsilon_w \sigma [(T_p)^4 - (T_{sky,off})^4] \quad \dots\dots\dots(2-9)$$

$$\dot{Q}_{rad,on} = A_p \varepsilon_c \sigma [(T_{c,o})^4 - (T_{sky,on})^4] \quad \dots\dots\dots(2-10)$$

حيث:

$\varepsilon_c$  إصدارية (انبعاثية) الغطاء من أجل الموجة الطويلة، وهي تعتمد على مادة الغطاء، وتتراوح قيمتها بين (0.4-0.9).

ويتم حساب  $T_{sky,on}$  ،  $T_{sky,off}$  بالاعتماد على المعادلات ( 1-20 وحتى 1-29).  
أما  $T_{c,o}$  درجة حرارة سطح الغطاء الخارجي فيتم حسابها من معادلة توازن الطاقة للغطاء، حيث يكون معدل ضياع الحرارة بالتوصيل من الحوض عبر الغطاء مساوياً إلى: مجموع معدل ضياع الحرارة بالحمل ومعدل ضياع الحرارة بالإشعاع من سطح الغطاء إلى الوسط المحيط، الشكل (2-17).



الشكل (2-17) ضياع الحرارة بالحمل والإشعاع بين سطح الغطاء الخارجي والوسط المحيط بالحوض

ومنه يمكن أن نكتب معادلة توازن الطاقة للغطاء بالشكل التالي:

$$\dot{Q}_{cond,c,on} = \dot{Q}_{conv,on} + \dot{Q}_{rad,on} \quad \dots\dots\dots(2-11)$$

ويتم حساب معدل ضياع الحرارة بالتوصيل عبر الغطاء  $\dot{Q}_{cond,c,on}$  من المعادلة التالية:

$$\dot{Q}_{cond,c,on} = A_p \left[ \frac{T_p - T_{c,o}}{\frac{\delta_{cov,1}}{\lambda_{cov,1}} + \frac{\delta_{cov,2}}{\lambda_{cov,2}}} \right] \quad \dots\dots\dots(2-12)$$

حيث:

$\lambda_{cov,1}$  سماكة وايصالية الطبقة العازلة من الغطاء.

$\lambda_{cov,2}$  سماكة وايصالية الفقاعات الهوائية الموجودة بالغطاء.

## 2-5-4 ضياع الحرارة الناتج عن مياه التعويض:

إن تغطية حوض السباحة ليلاً يقلل من ضياع الحرارة الاجمالي لأن التبخر تم منعه بواسطة الغطاء، مما يؤدي إلى تخفيض كمية ماء التعويض المضافة إلى الحوض، وبالتالي فإن معدل ضياع الحرارة الناتج عن مياه التعويض نهاراً وليلاً يعطى بالعلاقات التالية:

$$\dot{Q}_{makeup,off} = \dot{m}_{makeup,off} C_p [T_p - T_c] \quad \dots\dots\dots(2-13)$$

$$\dot{Q}_{makeup,on} = \dot{m}_{makeup,on} C_p [T_p - T_c] \quad \dots\dots\dots(2-14)$$

$$\dot{m}_{makeup,off} = \dot{m}_{eva} + f_{makeup} \frac{\rho V_p}{7 \times 3600 \times N_{daylight}} \quad \dots\dots\dots(2-15)$$

$$\dot{m}_{makeup,on} = f_{makeup} \frac{\rho V_p}{7 \times 3600 \times (24 - N_{daylight})} \quad \dots\dots\dots(2-16)$$

$$\dot{m}_{eva} = \frac{\dot{Q}_{eva,off}}{\lambda} \quad \dots\dots\dots(2-17)$$



## 2-5-5 ضياع الحرارة بالتوصيل:

إن معدل ضياع الحرارة بالتوصيل لحوض سباحة مغطى نهاراً وليلاً يعطى بالعلاقات التالية:

$$\dot{Q}_{cond,off} = 0.05 [\dot{Q}_{eva,off} + \dot{Q}_{conv,off} + \dot{Q}_{rad,off} + \dot{Q}_{makeup,off}] \quad \dots\dots\dots(2-18)$$

$$\dot{Q}_{cond,on} = 0.05 [\dot{Q}_{cond,c,on} + \dot{Q}_{makeup,on}] \quad \dots\dots\dots(2-19)$$

## 2-6 كمية الحرارة المخزنة في الحوض المغطى:

$$Q_{t,off} = \dot{Q}_{tot,off} 30 N_{daylight} 3600 \quad \dots\dots\dots(2-20)$$

$$Q_{t,on} = \dot{Q}_{tot,on} 30 (24 - N_{daylight}) 3600 \quad \dots\dots\dots(2-21)$$

$$Q_t = Q_{t,off} + Q_{t,on} \quad \dots\dots\dots(2-22)$$

$$Q_t = C_p \rho_l V_p [T_p - T_c] \quad \dots\dots\dots(2-23)$$

## 2-7 كمية الحرارة اللازمة للتسخين المساعد في الحوض المغطى:

$$Q_{req} = C_p \rho_l V_p [27 - T_p] \quad \dots\dots\dots(2-24)$$

## الفصل الثالث

### النمذجة الحاسوبية

#### 3-1 مفهوم النمذجة:

أدخل التطور التقني الكبير في هندسة الحاسوب وعلومه في الأعوام الأخيرة مفاهيم جديدة في الأتمتة، منها تخطيط الأتمتة قبل إنجازها إذ أصبحت أتمتة أي عملية أو منظومة تمر بمرحلتين أساسيتين هما النمذجة (*Modeling*) والمحاكاة (*Simulation*) قبل البدء بتنفيذ تلك المنظومة.

النمذجة هي المرحلة التي يتم فيها بناء نموذج رياضي للمنظومة المطلوب أتمتتها، وهذا النموذج يصف السلوك الديناميكي لهذه المنظومة وصفاً كاملاً، ويتم إنجاز ذلك باستخدام عدة طرائق رياضية تعتمد على مبدأ حفظ مصونية الطاقة وعلى بنيتها الديناميكية وطريقة ترابط العناصر المكونة لها.

أما المحاكاة فتتضمن بناء منظومة مصغرة، لها مواصفات المنظومة الأصلية نفسها المطلوب أتمتتها وتحاكيها في السلوك، ويمكن إنجاز ذلك ببناء نموذج إلكتروني مخبري باستخدام العناصر الإلكترونية الفعالة المتوفرة، أو باستخدام الحاسوب وكتابة برنامج بإحدى لغات البرمجة المعتمدة، ثم تشغيل هذا النموذج بالشروط المحيطة نفسها المطلوب تشغيل المنظومة الأصلية فيها.

الفائدة من إجراء النمذجة والمحاكاة هي التأكد من صحة النتيجة النهائية لعمل المنظومة، ويمكن تصحيح أي خطأ وظيفي بضبط النموذج الرياضي المستعمل وتعديل البرنامج بلا أي كلفة إضافية.

### 2-3 برنامج *EES* (*Engineering Equation Solver*):

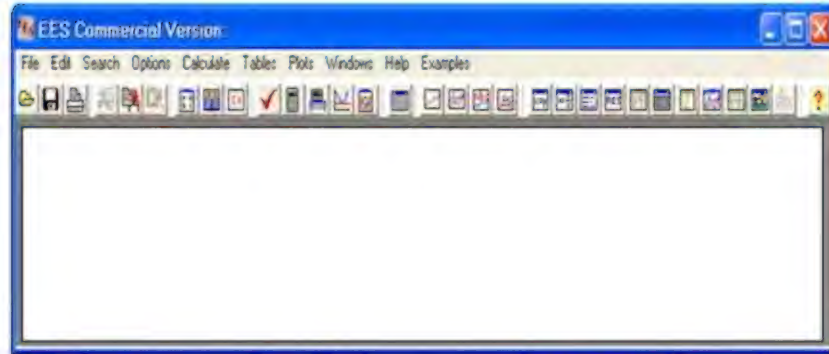
يستخدم برنامج *EES* للنمذجة الرياضية في المسائل الحرارية، بالإضافة إلى حل المعادلات الرياضية الخطية وغير الخطية ورسم المخططات البيانية يحتوي البرنامج على قاعدة بيانات تتضمن الخواص الحرارية والفيزيائية لمعظم وسائط العمل المستخدمة في الآلات الحرارية وآلات التبريد، وهو من أهم البرامج المستخدمة في البحث العلمي ورسائل الدكتوراه والماجستير<sup>[14]</sup>.

### 3-2-1 لمحة عن برنامج *EES*:

تتوزع أوامر برنامج *EES* على عشرة قوائم رئيسية، وشريط الأدوات لهذا البرنامج يقع تحت القوائم الرئيسية ويحتوي على أزرار صغيرة مهمتها الوصول السريع إلى أمر ما مهم.

عند تحريك الماوس فوق الزر والانتظار لبضع ثواني تظهر بعض الكلمات لتشرح وظيفة ذلك الزر ويمكن إخفاء شريط الأدوات عند الحاجة أو إعادة إظهاره باستخدام نافذة *Preferences* الواقعة ضمن القائمة الرئيسية *options*.

والشكل (3-1) يبين شريط الأدوات في برنامج *EES*:

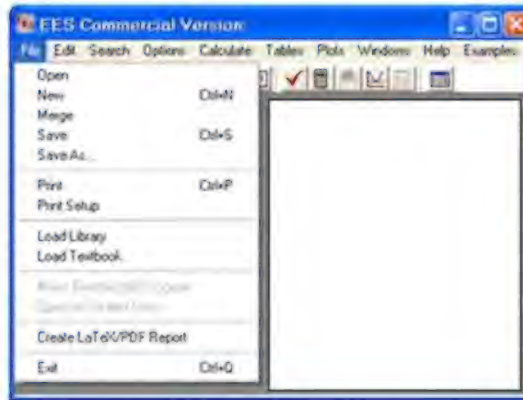


الشكل (3-1) شريط الأدوات في برنامج *EES*

### 2-2-3 القوائم الرئيسية للبرنامج:

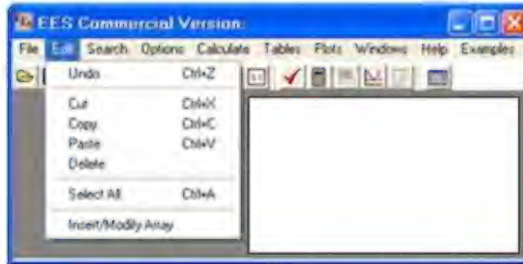
1- قائمة *System*: تتوضع عند أيقونة *EES* على الزاوية العليا الرئيسية، هذه القائمة ليست جزءا من *EES* ولكنها إحدى ميزات نظام التشغيل *Windows* وظيفتها (تحريك، تصغير، تكبير، إغلاق....) النافذة الرئيسية للبرنامج.

2- قائمة *File*: تقدم أوامر التحميل، الدمج، وتخزين الملفات وطباعتها، كما بالشكل (2-3).



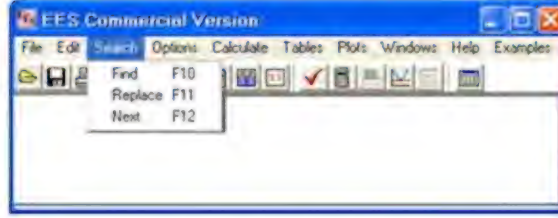
الشكل (2-3) قائمة File في برنامج *EES*

3- قائمة *Edit*: تقدم أوامر التحرير كقطع ونسخ ولصق المعلومات، كما بالشكل (3-3).



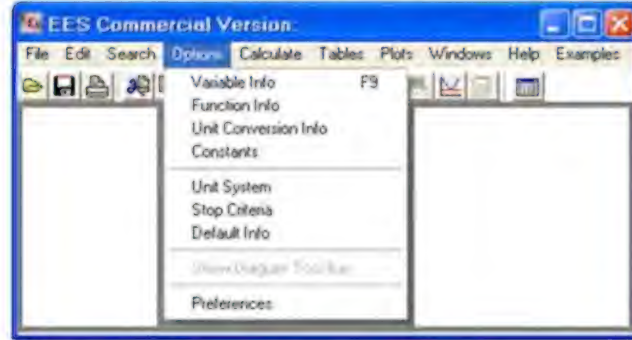
الشكل (3-3) قائمة Edit في برنامج *EES*

4- قائمة *Search*: تقدم أوامر البحث والاستبدال للمتحولات والمعطيات في نافذة المعادلات، كما بالشكل (4-3).



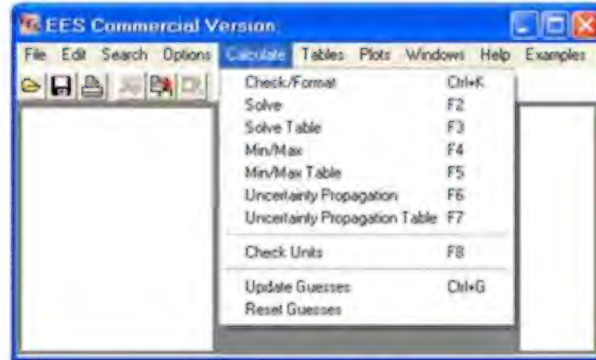
الشكل (4-3) قائمة Search في برنامج EES

5- قائمة *Options*: تقدم أوامر ضبط وتعديل قيم المتغيرات ونظام الوحدات المستخدمة والتوابع وإيجاد خواص المواد .....، الشكل (5-3).



الشكل (5-3) قائمة Options في برنامج EES

6- قائمة *Calculate*: تستخدم لتقديم حلول المعادلات وإيجاد القيم المجهولة.



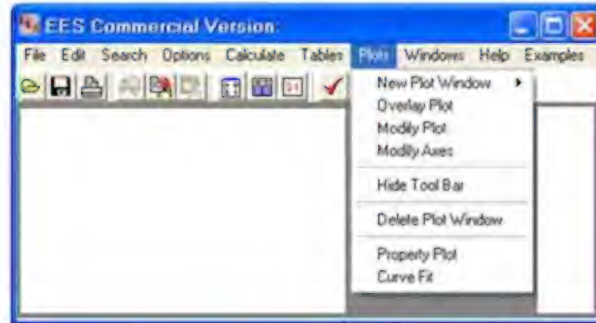
الشكل (6-3) قائمة Calculate في برنامج EES

7- قائمة *Table*: تحتوي أوامر لإنشاء جداول وتعديلها ولها استخدامات مهمة جداً لحل المعادلات عند قيم مختلفة لأحد المتحولات، الشكل (7-3).



الشكل (7-3) قائمة Table في برنامج EES

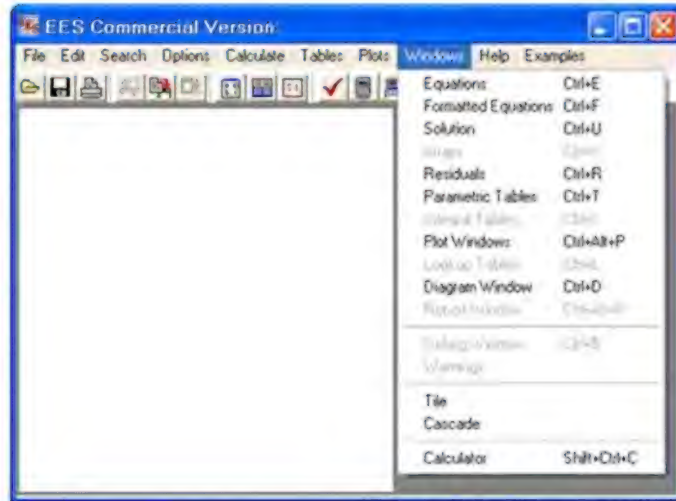
8- قائمة *Plot*: تحتوي أوامر لرسم وتعديل المخططات البيانية لمتحولات مختلفة وعند قيم مختارة وتعديلها عند الضرورة، الشكل (8-3).



الشكل (8-3) قائمة Plot في برنامج EES

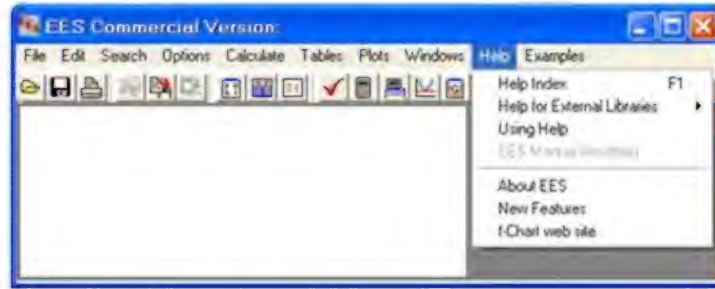
9- قائمة *Windows*: تستخدم لاستدعاء وإظهار أي من النوافذ السابقة ( الجداول المعادلات، المخططات البيانية وغيرها )، الشكل (9-3).





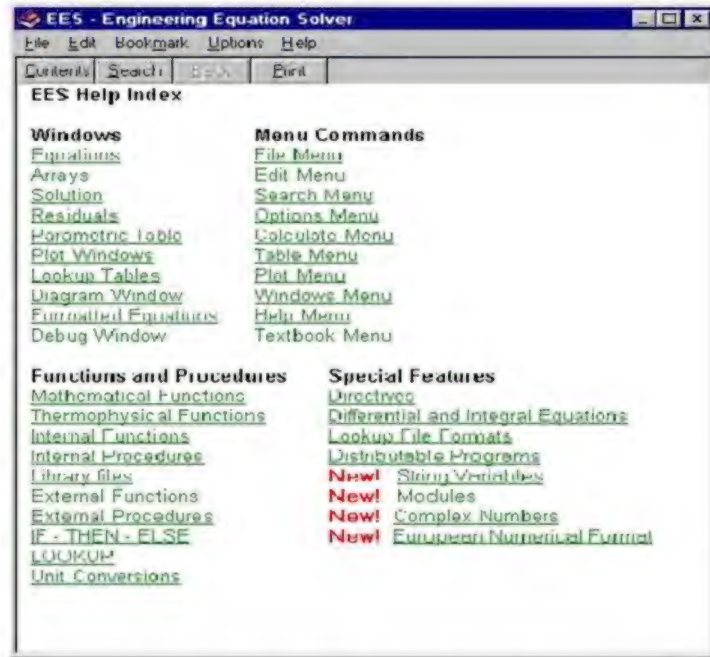
الشكل (9-3) قائمة Windows في برنامج EES

10- قائمة Help: تستخدم لتقديم المساعدة لكل الأوامر السابقة، الشكل (10-3).



الشكل (10-3) قائمة Help في برنامج EES

♦ يوجد شرح مفصل لتفسير أي جانب من جوانب برنامج EES بالضغط على زر  $(F_1)$ ، حيث تظهر نافذة المساعدة المتعلقة بالنافذة الرئيسية، وبالضغط على زر المحتويات المتضمنة في هذه النافذة سيظهر فهرس المساعدة في الأسفل وعند الضغط على الكلمة المشار إليها بخط (يظهر هذا الخط بلون أخضر أو بلون شاشة العرض) سنحصل المساعدة المتعلقة بتلك المادة، الشكل (11-3).



الشكل (3-11) نافذة المساعدة في برنامج EES

### 3-2-3 ملاحظات عند كتابة المعادلات في برنامج EES:

- ♦ لا يوجد فرق بين الرموز الصغيرة والكبيرة.
- ♦ العبارات التوضيحية يجب أن توضع إما:
  - بين قوسين { } — أو ضمن إشارتي تنصيص " " .
- ♦ المتحولات يجب أن تبدأ بحرف ويمكن أن تحتوي بعده أي حرف باستثناء الرموز التالية : ( ; ) : " ^ + / \* , ( ) .
- ♦ يمكن كتابة أكثر من معادلة على نفس السطر على أن تفصل فيما بينها بفاصلة منقوطة.
- ♦ عدد الحروف الأعظمية المسموحة في السطر هي 225.
- ♦ لرفع القوة نستخدم ^ أو \* \* .



♦ ليس هناك أي أهمية لترتيب المعادلات.

♦ وحدات الثوابت يمكن إدخالها مع الأرقام مباشرة ضمن قوسين مثل  $[m/s^2]$ .

♦ نستخدم الرموز التالية عند الكتابة داخل البرنامج:

$$\begin{array}{ccc} m_1 & \Rightarrow & m\_1 \\ \dot{m} & \Rightarrow & m\_dot \end{array}$$

♦ يمكن استخدام الرموز الإغريقية بكتابة اسمها الفعلي مثلا :

$$\alpha = 1 \quad \Rightarrow \quad alpha = 1$$

### 4-2-3 نافذة كتابة المعادلات:

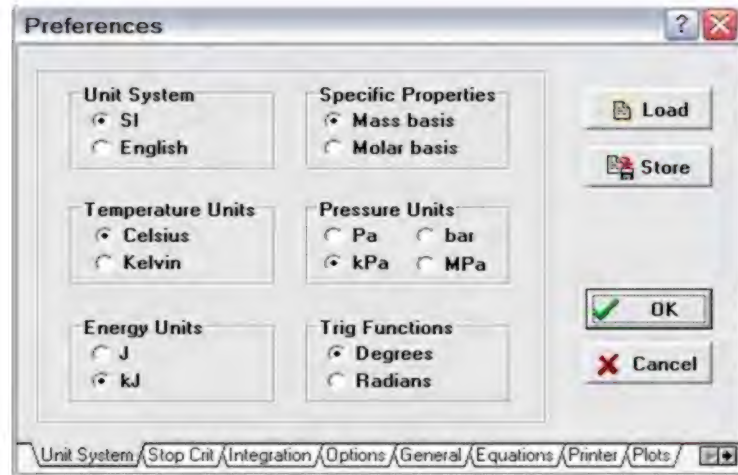
النافذة التي يمكن كتابة المعادلات ضمنها تدعى نافذة المعادلات وهي تظهر بشكل آلي عند فتح البرنامج *EES*، الشكل (12-3).



الشكل (12-3) نافذة كتابة المعادلات في برنامج *EES*

### 5-2-3 نظام وحدات العمل:

لمعرفة أو لتغيير نظام الوحدة المستخدم في البرنامج نختار الأيقونة *Unit system* من قائمة *Options* فتظهر النافذة الموضحة بالشكل (13-3) والتي يمكن من خلالها تحديد الوحدات المستخدمة.



الشكل (13-3) نافذة تغيير نظام الوحدات لبرنامج (EES)

### 3-2-6 حل المعادلات غير الخطية:

إن الميزة الأساسية لبرنامج *EES* هي حل مجموعة المعادلات الجبرية غير الخطية ولإثبات هذه الإمكانية نقوم بتشغيل برنامج *EES* وإدخال المسألة الموضحة في الشكل (3-14) كمثال في نافذة المعادلات.



الشكل (3-14) مثال لحل المعادلات غير الخطية

يمكن إظهار المعادلات السابقة بعد كتابتها بشكلها الرياضي في نافذة المعادلات بصيغتها الكتابية باختيار أمر نافذة المعادلات المنسقة من قائمة النوافذ الشكل (3-15)

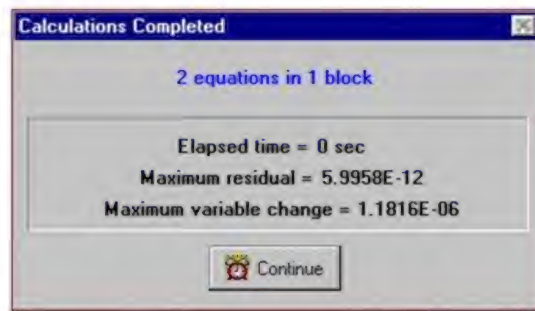


$$X \cdot \ln(X) = Y^3$$

$$\sqrt{X} = \frac{1}{Y}$$

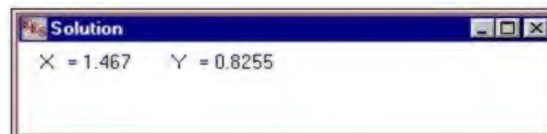
الشكل (15-3) نافذة المعادلات المصاغة في البرنامج (EES)

باختيار الأمر حل من قائمة الحساب، ستظهر نافذة الحوار في إشارة إلى تقدم عملية الحل وعندما تكتمل الحسابات يتغير الزر من إلغاء إلى متابعة، الشكل (16-3).



الشكل (16-3) نافذة إتمام الحسابات في البرنامج (EES)

بالنقر على زر المتابعة يتم عرض حل هذه المجموعة من المعادلات أي عرض قيم جميع المتحولات، الشكل (17-3).



$$X = 1.467 \quad Y = 0.8255$$

الشكل (17-3) نافذة الحلول في البرنامج (EES)

### 3-3 النمذجة الحاسوبية لحوض سباحة غير مغطى:

لقد تمت دراسة حالة بقيمة عددية على حوض سباحة مكشوف مساحة سطحه  $10 \times 6 \text{ m}^2$  وعمقه الوسطي (1.5 m) ضمن مدينة حلب الواقعة على خط العرض (36.12) وخط الطول (37.1).  
إن أهم البارامترات المناخية اللازمة لدراسة التوازن الحراري لنموذج الحوض هي:

- درجة الحرارة الأعظمية الشهرية للهواء المحيط بالحوض.
  - درجة الحرارة الأصغرية الشهرية للهواء المحيط بالحوض.
  - عدد ساعات النهار.
  - شدة الإشعاع الشمسي الوسطي الشهري الساقط على سطح أفقي.
  - الرطوبة النسبية الوسطية الشهرية.
  - الضغط الجوي الوسطي الشهري للوسط المحيط.
  - دليل الوضوح (السماة الصافية) الوسطي الشهري.
  - سرعة الرياح الوسطية الشهرية على ارتفاع ( $h_2=10 \text{ m}$ ).
- ولحساب سرعة الرياح على ارتفاع  $h_1=30 \text{ cm}$  من سطح الحوض سنستخدم طريقة Hellmann، حيث سنختار قيمة طول التموج  $Z_0=0.1$  لمنطقة زراعية ذات أشجار قليلة اعتماداً على الجدول (1-2).  
ويكون لدينا وفق ذلك<sup>[8]</sup>:

$$z = \sqrt{h_1 h_2} = \sqrt{0.3 \times 10} = 1.73$$

$$\alpha = \frac{1}{\ln \frac{z}{Z_0}} = \frac{1}{\ln \frac{1.73}{0.1}} = 0.35$$

$$\frac{V(h_2)}{V(h_1)} = \left( \frac{10}{0.3} \right)^{0.35} = 3.4$$

$$V(h_1) = \frac{V(h_2)}{3.4} = 0.294 \times V(h_2)$$

مع العلم أن:

$$\varepsilon_w = 0.96 \text{ اصدارية الماء.}$$

$$\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ (W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)) \text{ ثابت بولتزمان.}$$

$$c_p = 4.2 \text{ (kJ/kg.K) السعة الحرارية للماء.}$$

$$\lambda = 2454 \text{ kJ/kg الحرارة الكامنة لتبخير الماء.}$$

كما تم اعتماد قيمة امتصاصية ماء حوض السباحة للأشعة الشمسية من

الجدول (1-1)  $\alpha = 0.90$  على أساس: عمق الحوض (1.5 m)، ولون البورسلان

(أزرق فاتح)، والشكل (3-18) يبين نافذة المدخلات للبارامترات المناخية إلى

البرنامج الحاسوبي المستخدم بالنمذجة لحوض السباحة المدروس غير المغطى<sup>[13]</sup>:

| Parametric Table |         |                              |                              |                                  |                            |                           |                 |                         |                           |
|------------------|---------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|
| Without cover    |         |                              |                              |                                  |                            |                           |                 |                         |                           |
| 1..12            | 1 Month | 2 T <sub>a,max</sub><br>[Co] | 3 T <sub>a,min</sub><br>[Co] | 4 N <sub>daylight</sub><br>[hr.] | 5 S <sub>t</sub><br>[W/m2] | 6 P <sub>t</sub><br>[kpa] | 7 $\phi$<br>[-] | 8 K <sub>T</sub><br>[-] | 9 V <sub>1</sub><br>[m/s] |
| Run 1            | 1       | 8.56                         | 1.89                         | 10                               | 243                        | 95.2                      | 0.71            | 0.47                    | 3.7                       |
| Run 2            | 2       | 10.01                        | 2.03                         | 10.9                             | 330                        | 95.1                      | 0.643           | 0.5                     | 4                         |
| Run 3            | 3       | 14.73                        | 5.03                         | 11.9                             | 443                        | 94.9                      | 0.567           | 0.53                    | 4.2                       |
| Run 4            | 4       | 20.99                        | 10.18                        | 13.1                             | 543                        | 94.7                      | 0.501           | 0.55                    | 4.2                       |
| Run 5            | 5       | 26.17                        | 14.9                         | 14                               | 630                        | 94.6                      | 0.448           | 0.59                    | 3.9                       |
| Run 6            | 6       | 30.63                        | 19.75                        | 14.5                             | 720                        | 94.4                      | 0.384           | 0.66                    | 3.7                       |
| Run 7            | 7       | 34.98                        | 23.57                        | 14.3                             | 710                        | 94.1                      | 0.316           | 0.67                    | 3.8                       |
| Run 8            | 8       | 34.24                        | 23.42                        | 13.5                             | 653                        | 94.2                      | 0.341           | 0.65                    | 3.7                       |
| Run 9            | 9       | 29.92                        | 19.64                        | 12.4                             | 573                        | 94.6                      | 0.373           | 0.64                    | 3.2                       |
| Run 10           | 10      | 23.76                        | 14.74                        | 11.3                             | 406                        | 95                        | 0.461           | 0.56                    | 3.3                       |
| Run 11           | 11      | 16.39                        | 8.36                         | 10.2                             | 283                        | 95.2                      | 0.571           | 0.51                    | 3.1                       |
| Run 12           | 12      | 10.58                        | 3.69                         | 9.76                             | 216                        | 95.3                      | 0.687           | 0.45                    | 3.7                       |

الشكل (3-18) نافذة مدخلات البارامترات المناخية

3-4 كود البرنامج المصمم لدراسة نمذجة التوازن الحراري لحوض  
السباحة المكشوف وبدون غطاء:

$$Q_{\text{dot\_tot\_day}} = Q_{\text{dot\_eva\_day}} + Q_{\text{dot\_conv\_day}} + Q_{\text{dot\_rad\_day}} + Q_{\text{dot\_makeup\_day}} + Q_{\text{dot\_cond\_day}} - Q_{\text{dot\_pass}}$$

$$Q_{\text{dot\_tot\_night}} = Q_{\text{dot\_eva\_night}} + Q_{\text{dot\_conv\_night}} + Q_{\text{dot\_rad\_night}} + Q_{\text{dot\_makeup\_night}} + Q_{\text{dot\_cond\_night}}$$

$$Q_{\text{dot\_pass}} = A_p \cdot (S_t - \rho \cdot S_t)$$

$$A_p = L \cdot B$$

$$L = 10$$

$$B = 6$$

$$\rho = 0.1$$

$$T_{a\_max} = 8$$

$$T_{a\_min} = 4$$

$$\Delta T = T_{a\_max} - T_{a\_min}$$

$$T_{a\_day} = T_{a\_max} - 0.2 \cdot \Delta T$$

$$T_{a\_night} = T_{a\_min} + 0.3 \cdot \Delta T$$

$$Q_{\text{dot\_conv\_day}} = A_p \cdot h_{\text{conv\_day}} \cdot (T_p - T_{a\_day})$$

$$h_{\text{conv\_day}} = 3.1 + 4.1 \cdot V_{\text{day}}$$

$$Q_{\text{dot\_conv\_night}} = A_p \cdot h_{\text{conv\_night}} \cdot (T_p - T_{a\_night})$$

$$h_{\text{conv\_night}} = 3.1 + 4.1 \cdot V_{\text{night}}$$

$$L_{sky\_day} = \sigma * (T_{sky\_day} + 273.2)^4$$

$$L_{sky\_day} = (1-c) * L_{clear\_day} + c * L_{cloudy\_day}$$

$$L_{clear\_day} = 5.31 * 10^{(-13)} * (T_{a\_day} + 273.2)^6$$

$$L_{cloudy\_day} = 0.96 * \sigma * (T_{a\_day} + 273.2 - 5)^4$$

$$L_{sky\_night} = \sigma * (T_{sky\_night} + 273.2)^4$$

$$L_{sky\_night} = (1-c) * L_{clear\_night} + c * L_{cloudy\_night}$$

$$L_{clear\_night} = 5.31 * 10^{(-13)} * (T_{a\_night} + 273.2)^6$$

$$L_{cloudy\_night} = 0.96 * \sigma * (T_{a\_night} + 273.2 - 5)^4$$

$$c = (K_d - 0.165) / 0.835$$

$$K_d = 1.188 - 2.272 * K_T + 9.473 * K_T^2 - 1.865 * K_T^3 + 14.648 * K_T^4$$

$$K_T = 0.7$$

$$Q_{dot\_rad\_day} = A_p * \epsilon_w * \sigma * ((T_p + 273.2)^4 - (T_{sky\_day} + 273.2)^4)$$

$$Q_{dot\_rad\_night} = A_p * \epsilon_w * \sigma * ((T_p + 273.2)^4 - (T_{sky\_night} + 273.2)^4)$$

$$\epsilon_w = 0.96$$

$$\sigma = 5.669 * 10^{(-8)}$$

$$Q_{dot\_eva\_day} = A_p * h_{e\_day} * (P_{v.sat} - P_{v.amb\_day}) * 1.12$$

$$h_{e\_day} = 0.05058 + 0.0669 * V_{day}$$

$$P_{v.sat} = 100000 * (0.004516 + 0.0007178 * T_p - 2.649 * (10^{(-6)}) * T_p^2 + 6.944 * (10^{(-7)}) * T_p^3)$$

$$P_{v,amb\_day} = P_{s\_day} * \phi$$

$$P_{s\_day} = 100000 * (0.004516 + 0.0007178 * T_{a\_day} - 2.649 * (10^{-6}) * T_{a\_day}^2 + 6.944 * (10^{-7}) * T_{a\_day}^3)$$

$$\phi = 0.6$$

$$Q_{dot\_eva\_night} = A_p * h_{e\_night} * (P_{v,sat} - P_{v,amb\_night})$$

$$h_{e\_night} = 0.05058 + 0.0669 * V_{night}$$

$$P_{v,amb\_night} = P_{s\_night} * \phi$$

$$P_{s\_night} = 100000 * (0.004516 + 0.0007178 * T_{a\_night} - 2.649 * (10^{-6}) * T_{a\_night}^2 + 6.944 * (10^{-7}) * T_{a\_night}^3)$$

$$Q_{dot\_makeup\_day} = m_{dot\_makeup\_day} * c_p * (T_p - T_c)$$

$$Q_{dot\_makeup\_night} = m_{dot\_makeup\_night} * c_p * (T_p - T_c)$$

$$T_c = 17.5 - 12.5 * \cos(2 * \pi * (\text{Month} - 2) / 12)$$

$$T1 = (T_p + T_c) / 2$$

$$P1 = 1$$

$$c_p = CP(\text{Water}, T = T1, P = P1)$$

$$\rho_1 = \text{DENSITY}(\text{Water}, T = T1, P = P1)$$

$$m_{dot\_makeup\_day} = m_{dot\_eva\_day} + f_{makeup} * \rho_1 * V_p / (7 * 3600 * N_{daylight})$$

$$m_{dot\_makeup\_night} = m_{dot\_eva\_night} + f_{makeup} * \rho_1 * V_p / (7 * 3600 * (24 - N_{daylight}))$$

$$V_p = 1.5 * A_p$$



$$m_{\text{dot\_eva\_day}} = Q_{\text{dot\_eva\_day}} / 2454000$$

$$m_{\text{dot\_eva\_night}} = Q_{\text{dot\_eva\_night}} / 2454000$$

$$Q_{\text{dot\_cond\_day}} = 0.05 * (Q_{\text{dot\_eva\_day}} + Q_{\text{dot\_conv\_day}} + Q_{\text{dot\_rad\_day}} + Q_{\text{dot\_makeup\_day}})$$

$$Q_{\text{dot\_cond\_night}} = 0.05 * (Q_{\text{dot\_eva\_night}} + Q_{\text{dot\_conv\_night}} + Q_{\text{dot\_rad\_night}} + Q_{\text{dot\_makeup\_night}})$$

$$S_t = 10$$

$$V = V_1 / 3.412$$

$$N_{\text{daylight}} = 10$$

$$V_{\text{day}} = V + V * (8 / (\pi * N_{\text{daylight}})) * \sin(\pi * N_{\text{daylight}} / 24)$$

$$V_{\text{night}} = V - V * (8 / (\pi * (24 - N_{\text{daylight}}))) * \sin(\pi * (24 - N_{\text{daylight}}) / 24)$$

$$V_1 = 5$$

$$f_{\text{makeup}} = 1$$

$$\text{Month} = 1$$

$$Q_{\text{t\_day}} = Q_{\text{dot\_tot\_day}} * 30 * N_{\text{daylight}} * 3600$$

$$Q_{\text{t\_night}} = Q_{\text{dot\_tot\_night}} * 30 * (24 - N_{\text{daylight}}) * 3600$$

$$Q_{\text{t}} = Q_{\text{t\_day}} + Q_{\text{t\_night}}$$

$$Q_{\text{t}} = c_p * \rho_1 * V_p * (T_p - T_c)$$

$$Q_{\text{req}} = (c_p * \rho_1 * V_p * (27 - T_p)) / (1E9)$$

$$Q_{\text{dot\_tot\_loss}} = Q_{\text{dot\_tot\_day}} + Q_{\text{dot\_tot\_night}} + Q_{\text{dot\_pass}}$$

$$Q\_dot\_eva=Q\_dot\_eva\_day+Q\_dot\_eva\_night$$

$$Q\_dot\_conv=Q\_dot\_conv\_day+Q\_dot\_conv\_night$$

$$Q\_dot\_rad=Q\_dot\_rad\_day+Q\_dot\_rad\_night$$

$$Q\_dot\_makeup=Q\_dot\_makeup\_day+Q\_dot\_makeup\_night$$

$$Q\_dot\_cond=Q\_dot\_cond\_day+Q\_dot\_cond\_night$$

$$Z\_eva=Q\_dot\_eva*100/Q\_dot\_tot\_loss$$

$$Z\_conv=Q\_dot\_conv*100/Q\_dot\_tot\_loss$$

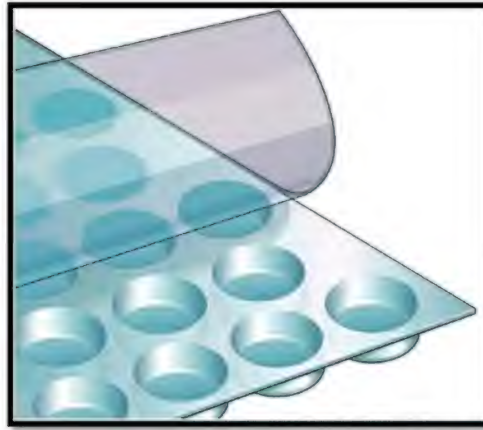
$$Z\_rad=Q\_dot\_rad*100/Q\_dot\_tot\_loss$$

$$Z\_makeup=Q\_dot\_makeup*100/Q\_dot\_tot\_loss$$

$$Z\_cond=Q\_dot\_cond*100/Q\_dot\_tot\_loss$$

### 5-3 النمذجة الحاسوبية لحوض سباحة مغطى:

افتراضنا في نمذجتنا أنه ستنم تغطية حوض السباحة بغطاء مؤلف من طبقتين من مادة البولي إيثيلين الشكل، تحتوي الطبقة السفلية على فقاعات هوائية بقطر (12 mm) وبارتفاع (5 mm) أما سماكة هذا الغطاء فهي (0.5 mm) كما هو موضح بالشكل (3-19)، كما أن الإيصالية الحرارية لمادة البولي إيثيلين هي (0.3 W/mK)، أما الإصدارية لهذه المادة فهي (0.7)، وكذلك افتراضنا أن غطاء الحوض سيتم استخدامه خلال الليل فقط<sup>[22]</sup>.



الشكل (19-3) نموذج غطاء حوض السباحة المعتمد بالنمذجة

6-3 كود البرنامج المصمم لدراسة نمذجة التوازن الحراري لحوض السباحة المكشوف مع غطاء:

$$Q_{\text{dot\_tot\_off}} = Q_{\text{dot\_eva\_off}} + Q_{\text{dot\_conv\_off}} + Q_{\text{dot\_rad\_off}} + Q_{\text{dot\_makeup\_off}} + Q_{\text{dot\_cond\_off}} - Q_{\text{dot\_pass}}$$

$$Q_{\text{dot\_tot\_on}} = Q_{\text{dot\_cond\_c\_on}} + Q_{\text{dot\_cond\_w\_on}} + Q_{\text{dot\_makeup\_on}}$$

$$Q_{\text{dot\_pass}} = A_p \cdot (S_t - \rho \cdot S_t)$$

$$A_p = L \cdot B$$

$$L = 10$$

$$B = 6$$

$$\rho = 0.1$$

$$S_t = 10$$

$$T_{a\_max} = 8$$

$$T_{a\_min}=4$$

$$DEL TAT=T_{a\_max}-T_{a\_min}$$

$$T_{a\_day}=T_{a\_max}-0.2*DEL TAT$$

$$T_{a\_night}=T_{a\_min}+0.3*DEL TAT$$

$$Q_{dot\_conv\_off}=A_p*h_{conv\_off}*(T_p-T_{a\_day})$$

$$h_{conv\_off}=3.1+4.1*V_{off}$$

$$L_{sky\_off}=\sigma*(T_{sky\_off}+273.2)^4$$

$$L_{sky\_off}=(1-c)*L_{clear\_off}+c*L_{cloudy\_off}$$

$$L_{clear\_off}=5.31*10^{(-13)}*(T_{a\_day}+273.2)^6$$

$$L_{cloudy\_off}=0.96*\sigma*(T_{a\_day}+273.2-5)^4$$

$$L_{sky\_on}=\sigma*(T_{sky\_on}+273.2)^4$$

$$L_{sky\_on}=(1-c)*L_{clear\_on}+c*L_{cloudy\_on}$$

$$L_{clear\_on}=5.31*10^{(-13)}*(T_{a\_night}+273.2)^6$$

$$L_{cloudy\_on}=0.96*\sigma*(T_{a\_night}+273.2-5)^4$$

$$c=(K_d-0.165)/0.835$$

$$K_d=1.188-2.272*K_T+9.473*K_T^2-1.865*K_T^3+14.648*K_T^4$$

$$K_T=0.7$$

$$Q_{dot\_rad\_off}=A_p*\epsilon_w*\sigma*((T_p+273.2)^4-(T_{sky\_off}+273.2)^4)$$

$$\epsilon_w = 0.96$$

$$\sigma = 5.669 \times 10^{-8}$$

$$\dot{Q}_{\text{eva\_off}} = A_p \cdot h_{\text{e\_off}} \cdot (P_{\text{v.sat}} - P_{\text{v.amb}}) \cdot 1.1$$

$$P_{\text{v.sat}} = 100000 \cdot (0.004516 + 0.0007178 \cdot T_p - 2.649 \cdot (10^6) \cdot T_p^2 + 6.944 \cdot (10^{-7}) \cdot T_p^3)$$

$$h_{\text{e\_off}} = 0.05058 + 0.0669 \cdot V_{\text{off}}$$

$$P_{\text{s}} = 100000 \cdot (0.004516 + 0.0007178 \cdot T_{\text{a\_day}} - 2.649 \cdot (10^{-6}) \cdot T_{\text{a\_day}}^2 + 6.944 \cdot (10^{-7}) \cdot T_{\text{a\_day}}^3)$$

$$P_{\text{v.amb}} = P_{\text{s}} \cdot \phi$$

$$\phi = 0.6$$

$$\dot{Q}_{\text{dot\_makeup\_off}} = \dot{m}_{\text{dot\_makeup\_off}} \cdot c_p \cdot (T_p - T_c)$$

$$\dot{Q}_{\text{dot\_makeup\_on}} = \dot{m}_{\text{dot\_makeup\_on}} \cdot c_p \cdot (T_p - T_c)$$

$$T_c = 17.5 - 12.5 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (\text{Month} - 2) / 12)$$

$$T_1 = (T_p + T_c) / 2$$

$$P_1 = 1$$

$$c_p = \text{CP}(\text{Water}, T = T_1, P = P_1)$$

$$\rho_1 = \text{DENSITY}(\text{Water}, T = T_1, P = P_1)$$

$$\dot{m}_{\text{dot\_makeup\_off}} = \dot{m}_{\text{dot\_eva}} + f_{\text{makeup}} \cdot \rho_1 \cdot V_p / (7 \cdot 3600 \cdot N_{\text{daylight}})$$

$$\dot{m}_{\text{dot\_makeup\_on}} = f_{\text{makeup}} \cdot \rho_1 \cdot V_p / (7 \cdot 3600 \cdot (24 - N_{\text{daylight}}))$$

$$V_p = 1.5 \cdot A_p$$

$$m\_dot\_eva=Q\_dot\_eva\_off/2454000$$

$$Q\_dot\_cond\_off=0.05*(Q\_dot\_eva\_off+Q\_dot\_conv\_off+Q\_dot\_rad\_off+Q\_dot\_makeup\_off)$$

$$Q\_dot\_cond\_w\_on=0.05*(Q\_dot\_cond\_c\_on+Q\_dot\_makeup\_on)$$

$$Q\_dot\_cond\_c\_on=Q\_dot\_conv\_on+Q\_dot\_rad\_on$$

$$Q\_dot\_conv\_on=A\_p*h\_conv\_on*(T\_c\_o-T\_a\_night)$$

$$Q\_dot\_rad\_on=A\_p**sigma*((T\_c\_o+273.2)^4-(T\_sky\_on+273.2)^4)$$

$$h\_conv\_on=3.1+4.1*V\_on$$

$$epsilon\_cov=0.7$$

$$Q\_dot\_cond\_c\_on=A\_p*(T\_p-T\_c\_o)/((delta\_cov\_1/lambda\_cov\_1)+(delta\_cov\_2/lambda\_cov\_2))$$

$$lambda\_cov\_1=0.288$$

$$delta\_cov\_1=0.0005$$

$$lambda\_cov\_2=0.024$$

$$delta\_cov\_2=0.005$$

$$V=V\_1/3.412$$

$$N\_daylight=10$$

$$V\_off=V+V*(8/(PI*N\_daylight))*sin(PI*N\_daylight/24)$$

$$V\_on=V-V*(8/(PI*(24-N\_daylight)))*sin(PI*(24-N\_daylight)/24)$$

"V\_1=5"

"T\_a=17"

f\_makeup=1

"Month=1"

$Q_{t\_off} = Q_{dot\_tot\_off} * 30 * N_{daylight} * 3600$

$Q_{t\_on} = Q_{dot\_tot\_on} * 30 * (24 - N_{daylight}) * 3600$

$Q_t = Q_{t\_off} + Q_{t\_on}$

$Q_t = c_p * \rho_{o1} * V_p * (T_p - T_c)$

$Q_{req} = (c_p * \rho_{o1} * V_p * (27 - T_p)) / (1E9)$

$Q_{dot\_tot\_loss} = Q_{dot\_tot\_off} + Q_{dot\_tot\_on} + Q_{dot\_pass}$

$Q_{dot\_conv} = Q_{dot\_conv\_off} + Q_{dot\_conv\_on}$

$Q_{dot\_rad} = Q_{dot\_rad\_off} + Q_{dot\_rad\_on}$

$Q_{dot\_makeup} = Q_{dot\_makeup\_off} + Q_{dot\_makeup\_on}$

$Q_{dot\_cond} = Q_{dot\_cond\_off} + Q_{dot\_cond\_w\_on}$

$Z_{eva} = Q_{dot\_eva\_off} * 100 / Q_{dot\_tot\_loss}$

$Z_{conv} = Q_{dot\_conv} * 100 / Q_{dot\_tot\_loss}$

$Z_{rad} = Q_{dot\_rad} * 100 / Q_{dot\_tot\_loss}$

$Z_{makeup} = Q_{dot\_makeup} * 100 / Q_{dot\_tot\_loss}$

$Z_{cond} = Q_{dot\_cond} * 100 / Q_{dot\_tot\_loss}$

## الفصل الرابع

### النتائج والمناقشة

#### 1-4 نتائج التوازن الحراري لنموذج الحوض غير المغطى:

من قيم البارامترات المناخية ومعادلات التوازن الحراري لنموذج حوض السباحة غير المغطى المدخلة إلى البرنامج نستطيع حساب القيم اللازمة لإتمام عملية النمذجة للحوض، وبعض هذه القيم موضحة بالشكل ( 1-4 ):



| 1..12  | 10 V [m/s] | 11 V <sub>day</sub> [m/s] | 12 V <sub>night</sub> [m/s] | 13 T <sub>c</sub> [°C] | 14 T <sub>a,day</sub> [°C] | 15 T <sub>a,night</sub> [°C] |
|--------|------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Run 1  | 1.08       | 1.351                     | 0.8939                      | 6.675                  | 7.226                      | 3.891                        |
| Run 2  | 1.17       | 1.443                     | 0.9468                      | 5                      | 8.414                      | 4.424                        |
| Run 3  | 1.23       | 1.494                     | 0.9719                      | 6.675                  | 12.79                      | 7.94                         |
| Run 4  | 1.23       | 1.468                     | 0.9463                      | 11.25                  | 18.83                      | 13.42                        |
| Run 5  | 1.14       | 1.344                     | 0.8619                      | 17.5                   | 23.92                      | 18.28                        |
| Run 6  | 1.08       | 1.265                     | 0.8092                      | 23.75                  | 28.45                      | 23.01                        |
| Run 7  | 1.11       | 1.303                     | 0.8345                      | 28.33                  | 32.7                       | 26.99                        |
| Run 8  | 1.08       | 1.285                     | 0.8265                      | 30                     | 32.08                      | 26.67                        |
| Run 9  | 0.94       | 1.13                      | 0.7323                      | 28.33                  | 27.86                      | 22.72                        |
| Run 10 | 0.97       | 1.184                     | 0.7741                      | 23.75                  | 21.96                      | 17.45                        |
| Run 11 | 0.91       | 1.129                     | 0.7455                      | 17.5                   | 14.78                      | 10.77                        |
| Run 12 | 1.08       | 1.355                     | 0.8988                      | 11.25                  | 9.202                      | 5.757                        |

الشكل (1-4) جدول حساب البارامترات المناخية اللازمة للنموذج

يوضح الشكل (2-4) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة

الحرارية بالتوصيل والحمل من حوض السباحة المدروس.



| Without cover | 16: $\dot{Q}_{cond\ day}$ [W] | 17: $\dot{Q}_{cond\ night}$ [W] | 18: $\dot{Q}_{cond}$ [W] | 19: $\dot{Q}_{conv\ day}$ [W] | 20: $\dot{Q}_{conv\ night}$ [W] | 21: $\dot{Q}_{conv}$ [W] |
|---------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Run 1         | 156.9                         | 325.8                           | 482.7                    | -655.5                        | 840.4                           | 184.9                    |
| Run 2         | 301.4                         | 472.6                           | 774                      | -1111                         | 811.3                           | -299.7                   |
| Run 3         | 479.2                         | 695.3                           | 1174                     | -1524                         | 891.3                           | -632.9                   |
| Run 4         | 668.7                         | 943.1                           | 1612                     | -1678                         | 979.2                           | -698.6                   |
| Run 5         | 862.4                         | 1124                            | 1987                     | -1325                         | 1222                            | -103.9                   |
| Run 6         | 1072                          | 1231                            | 2303                     | -1169                         | 1190                            | 21.02                    |
| Run 7         | 1059                          | 1133                            | 2191                     | -2169                         | 557.2                           | -1611                    |
| Run 8         | 911.7                         | 958.5                           | 1870                     | -1942                         | 600.5                           | -1341                    |
| Run 9         | 704.3                         | 781.5                           | 1486                     | -1109                         | 1007                            | -101.2                   |
| Run 10        | 392.6                         | 534                             | 926.6                    | -812                          | 1057                            | 245.2                    |
| Run 11        | 172.1                         | 369.1                           | 541.2                    | -344.5                        | 1209                            | 864.3                    |
| Run 12        | 86.31                         | 290.8                           | 377.1                    | -306.3                        | 1162                            | 856                      |

الشكل (2-4) قيم ضياع الطاقة بالتوصيل والحمل من حوض غير مغطى

يوضح الشكل (3-4) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع والتبخير من حوض السباحة المدروس.

| Without cover | 22: $\dot{Q}_{rad\ day}$ [W] | 23: $\dot{Q}_{rad\ night}$ [W] | 24: $\dot{Q}_{rad}$ [W] | 25: $\dot{Q}_{ev\ day}$ [W] | 26: $\dot{Q}_{ev\ night}$ [W] | 27: $\dot{Q}_{ev}$ [W] |
|---------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Run 1         | 3091                         | 4019                           | 7110                    | 1773                        | 2423                          | 4195                   |
| Run 2         | 3066                         | 4205                           | 7271                    | 2196                        | 2872                          | 5068                   |
| Run 3         | 3001                         | 4489                           | 7490                    | 3856                        | 4343                          | 8199                   |
| Run 4         | 2853                         | 4679                           | 7531                    | 7003                        | 6969                          | 13972                  |
| Run 5         | 2973                         | 5075                           | 8048                    | 11424                       | 10382                         | 21806                  |
| Run 6         | 2948                         | 5220                           | 8169                    | 17173                       | 14457                         | 31629                  |
| Run 7         | 1866                         | 4422                           | 6288                    | 21375                       | 17528                         | 38903                  |
| Run 8         | 2055                         | 4435                           | 6490                    | 20157                       | 16724                         | 36881                  |
| Run 9         | 2935                         | 5044                           | 7980                    | 15758                       | 13302                         | 29060                  |
| Run 10        | 3223                         | 4840                           | 8063                    | 10111                       | 8940                          | 19051                  |
| Run 11        | 3450                         | 4713                           | 8163                    | 5429                        | 5233                          | 10663                  |
| Run 12        | 3157                         | 4134                           | 7291                    | 2930                        | 3303                          | 6233                   |

الشكل (3-4) قيم ضياع الطاقة بالإشعاع والتبخير من حوض غير مغطى

يوضح الشكل (4-4) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الناتجة عن إضافة ماء التعويض للحوض، وقيم ضياع الطاقة الكلي من حوض السباحة المدروس.

| Parametric Table |                               |                                 |                            |                          |                             |                       |
|------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Without cover    |                               |                                 |                            |                          |                             |                       |
| 1..12            | 28 <sub>o</sub> makeupday [W] | 29 <sub>o</sub> makeupnight [W] | 30 <sub>o</sub> makeup [W] | 31 <sub>o</sub> pass [W] | 32 <sub>o</sub> totloss [W] | 33 <sub>Tp</sub> [°C] |
| Run 1            | -1071                         | -766.2                          | -1837                      | 13122                    | 10136                       | 6.0                   |
| Run 2            | 1876                          | 1564                            | 3440                       | 17820                    | 16253                       | 6.4                   |
| Run 3            | 4250                          | 4183                            | 8433                       | 23922                    | 24663                       | 10.0                  |
| Run 4            | 5197                          | 6235                            | 11431                      | 29322                    | 33848                       | 15.8                  |
| Run 5            | 4177                          | 5811                            | 9987                       | 34020                    | 41724                       | 21.4                  |
| Run 6            | 2487                          | 3748                            | 6235                       | 38880                    | 48356                       | 26.1                  |
| Run 7            | 98.77                         | 143.4                           | 242.2                      | 38340                    | 46013                       | 28.4                  |
| Run 8            | -2036                         | -2590                           | -4626                      | 35262                    | 39274                       | 28.2                  |
| Run 9            | -3499                         | -3723                           | -7222                      | 30942                    | 31202                       | 25.5                  |
| Run 10           | -4671                         | -4156                           | -8827                      | 21924                    | 19459                       | 20.3                  |
| Run 11           | -5094                         | -3772                           | -8866                      | 15282                    | 11365                       | 14.0                  |
| Run 12           | -4054                         | -2785                           | -6839                      | 11664                    | 7918                        | 8.6                   |

الشكل (4-4) قيم ضياع الطاقة لماء التعويض و الضياع الكلي من حوض غير مغطى

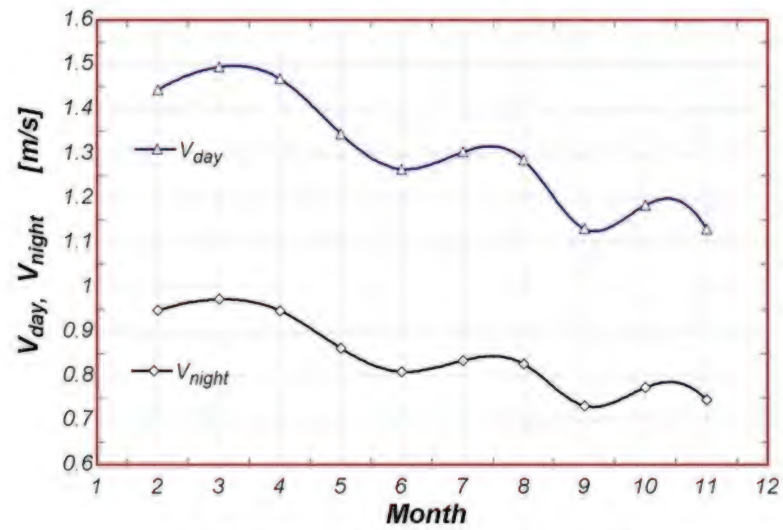
يوضح الشكل (5-4) مقدار الطاقة الشهرية المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة المدروس إلى درجة الحرارة المريحة للسباحة ( 27 °C )، ويوضح الشكل أيضاً نسب الضياع الشهرية المختلفة من حوض السباحة المدروس.

| Parametric Table |                   |                   |                   |                  |                     |                  |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Without cover    |                   |                   |                   |                  |                     |                  |
| 1..12            | 36 $Q_{reg}$ [GJ] | 37 $Z_{cond}$ [-] | 38 $Z_{conv}$ [-] | 39 $Z_{eva}$ [-] | 40 $Z_{makeup}$ [-] | 41 $Z_{rad}$ [-] |
| Run 1            | 7.944             | 4.762             | 1.824             | 41.39            | -18.12              | 70.15            |
| Run 2            | 7.797             | 4.762             | -1.844            | 31.18            | 21.17               | 44.73            |
| Run 3            | 6.397             | 4.762             | -2.566            | 33.24            | 34.19               | 30.37            |
| Run 4            | 4.23              | 4.762             | -2.064            | 41.28            | 33.77               | 22.25            |
| Run 5            | 2.123             | 4.762             | -0.2489           | 52.26            | 23.94               | 19.29            |
| Run 6            | 0.3366            | 4.762             | 0.04348           | 65.41            | 12.89               | 16.89            |
| Run 7            | -0.5314           | 4.762             | -3.502            | 84.55            | 0.5264              | 13.67            |
| Run 8            | -0.4531           | 4.762             | -3.415            | 93.91            | -11.78              | 16.53            |
| Run 9            | 0.5721            | 4.762             | -0.3245           | 93.13            | -23.14              | 25.57            |
| Run 10           | 2.534             | 4.762             | 1.26              | 97.9             | -45.36              | 41.44            |
| Run 11           | 4.874             | 4.762             | 7.605             | 93.82            | -78.01              | 71.82            |
| Run 12           | 6.929             | 4.762             | 10.81             | 78.72            | -86.37              | 92.08            |

الشكل (4-5) الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين الحوض إلى (27 °C) ونسب ضياع الطاقة

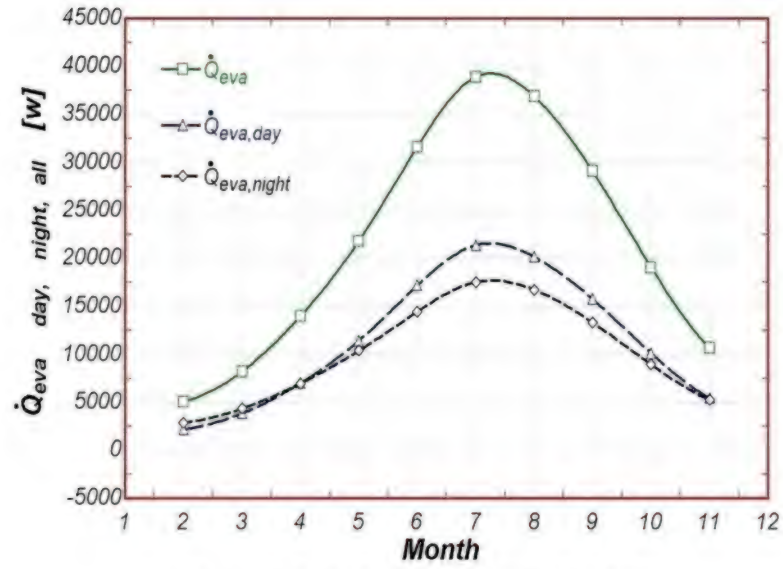
#### 2-4 المخططات البيانية لنتائج النمذجة للحوض غير المغطى:

يوضح الشكل (4-6) قيم سرعة الهواء الوسطية الشهرية خلال النهار وخلال الليل، من المخطط يتضح أن سرعة الهواء خلال النهار أعلى منها في الليل.



الشكل (4-6) تغيرات سرعة الهواء في الليل والنهار

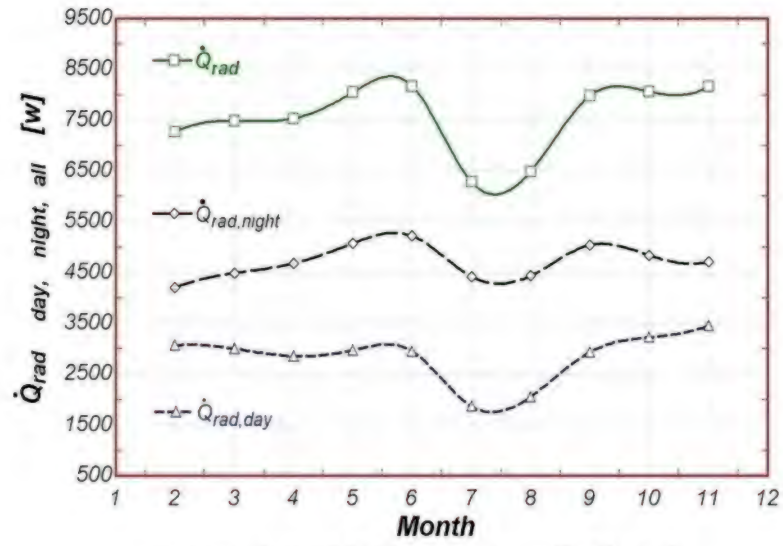
يوضح الشكل (7-4) مخطط تغيرات القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية من الحوض بالتبخير، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً خلال النصف الثاني من شهر تموز، كما نجد من خلال الجداول السابقة أن هذه القيم هي كبيرة مقارنة مع قيم الضياعات الأخرى.



الشكل (7-4) تغيرات ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير

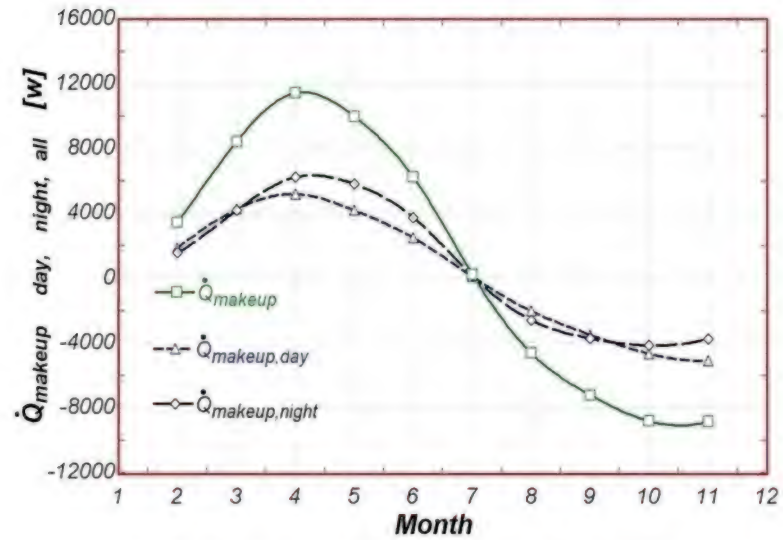
يوضح الشكل (8-4) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية من الحوض بالإشعاع، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً خلال النصف الأول من شهر حزيران ويبلغ قيمته الأصغرية عند أواخر شهر تموز.





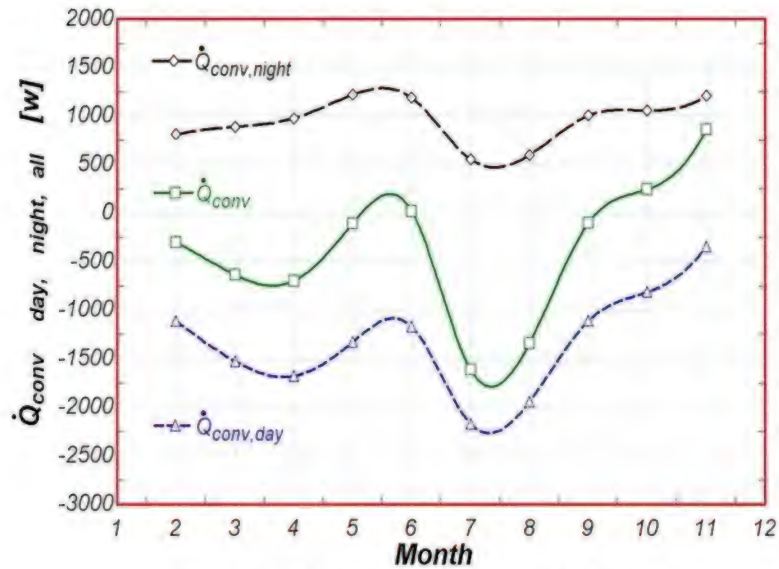
الشكل (4-8) تغيرات ضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع

يوضح الشكل (4-9) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية من الحوض الناتجة عن إضافة ماء التعويض للحوض، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً عند منتصف شهر نيسان ويبلغ قيمته الأصغرية عند نهاية شهر تشرين الأول وبداية شهر تشرين الثاني.



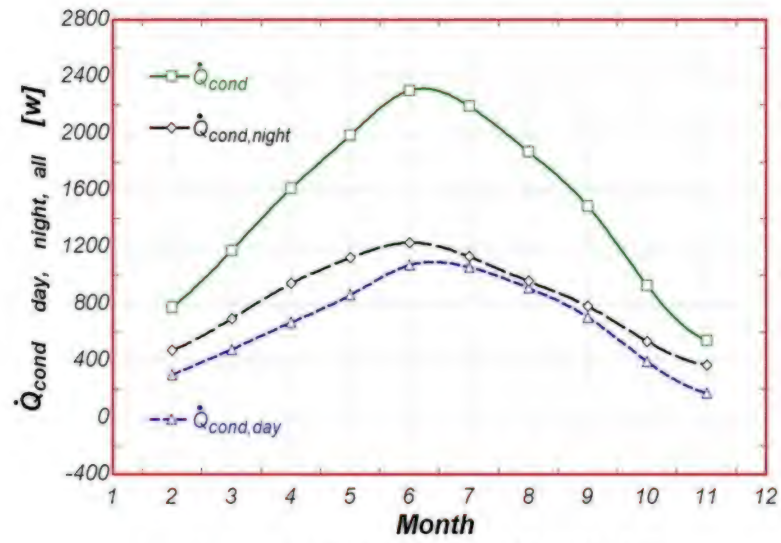
الشكل (4-9) تغيرات ضياع الطاقة الحرارية لمياه التعويض

يوضح الشكل (4-10) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية من الحوض بالحمل، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً خلال النصف الأول من شهر حزيران ويبلغ قيمته الأصغرية عند أواخر شهر تموز.



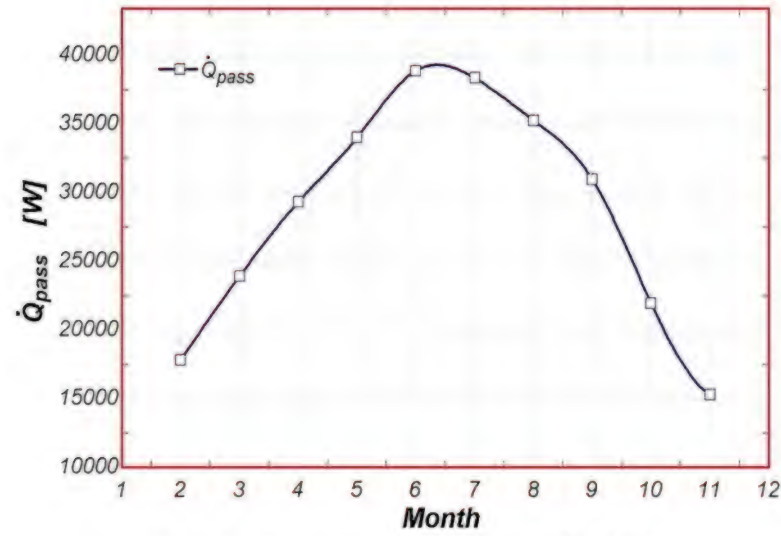
الشكل (4-10) تغيرات ضياع الطاقة الحرارية بالحمل

يوضح الشكل (4-11) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية من الحوض بالتوصيل، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً عند النصف الثاني شهر حزيران، كما نجد أن قيم هذا الضياع هي صغيرة نسبياً.



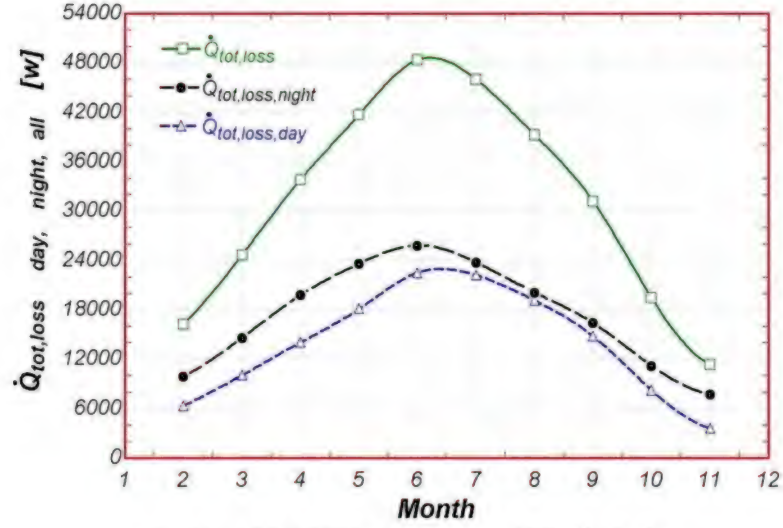
الشكل (4-11) تغيرات ضياع الطاقة الحرارية بالتوصيل

يوضح الشكل (4-12) التغيرات الشهرية في قيم الكسب الشمسي السلبي لحوض السباحة المدروس، ونجد أن أكبر قيم الكسب الشمسي كانت خلال موسم السباحة، وقد كانت أعظم هذه القيم عند النصف الثاني من شهر حزيران.



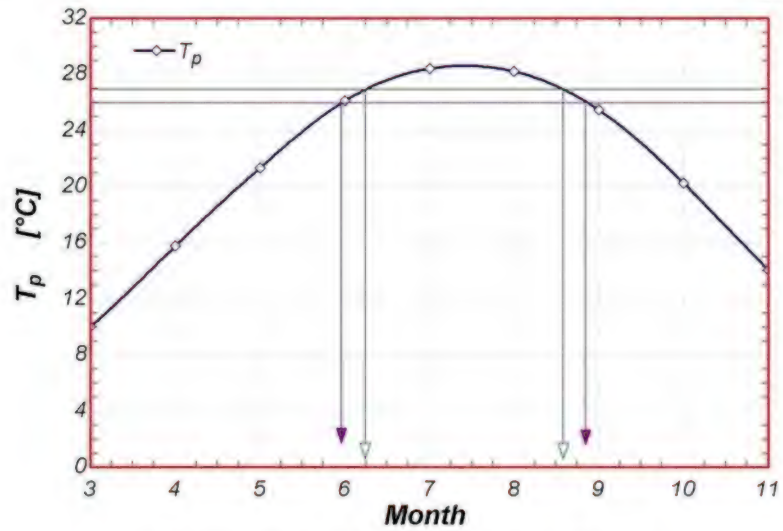
الشكل (4-12) تغيرات معدل الكسب الشمسي السلبي

يوضح الشكل (4-13) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية الكلية من الحوض، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظميا خلال النصف الأول من شهر حزيران.



الشكل (4-13) تغيرات ضياع الطاقة الكلية من الحوض

يوضح الشكل (4-14) مخطط التغيرات الشهرية لدرجة حرارة الحوض الشهرية.



الشكل (4-14) تغيرات درجة الحرارة لحوض مكشوف

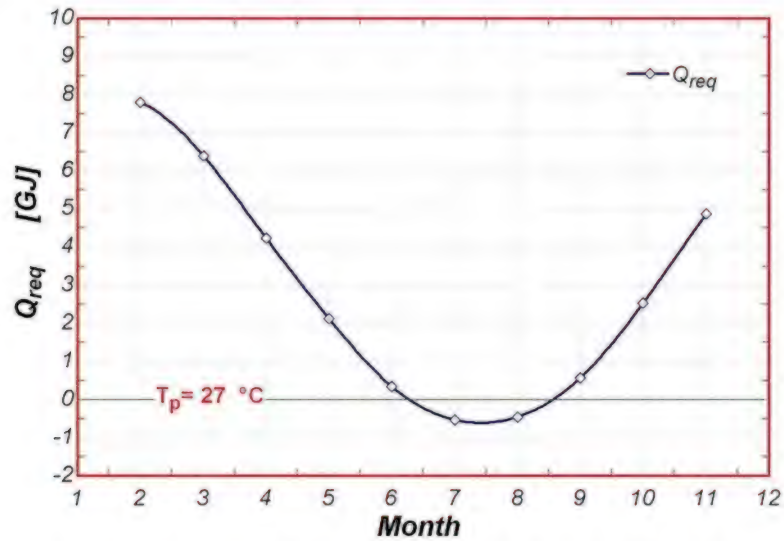


نلاحظ أن درجة حرارة الحوض المدروس تصل إلى القيمة الأعظمية (  $29^{\circ}\text{C}$  ) عند نهاية شهر تموز، وبما أن درجة حرارة ماء الحوض الموصى بها للسباحة هي (  $26-27^{\circ}\text{C}$  ) فإننا نلاحظ من هذا الشكل ما يلي:

← عندما تكون درجة حرارة السباحة المعتمدة هي (  $27^{\circ}\text{C}$  ) فإن موسم السباحة المريح يبدأ من بداية الأسبوع الرابع من شهر حزيران وحتى منتصف الأسبوع الأول من شهر أيلول.

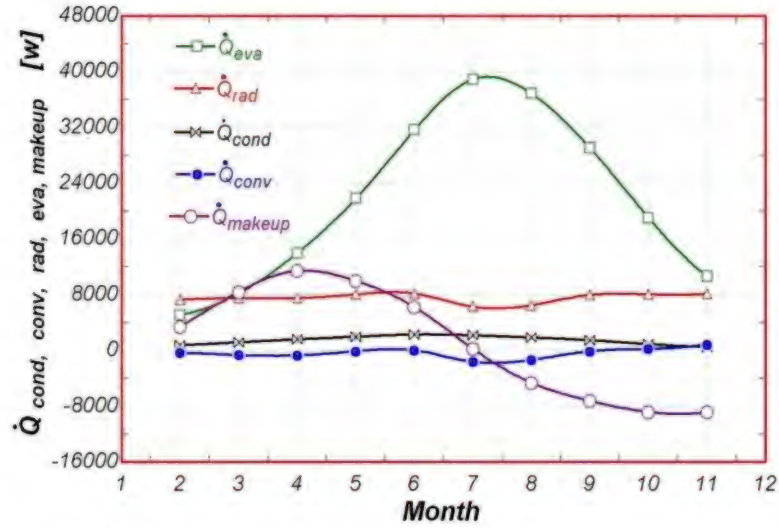
← عندما تكون درجة حرارة السباحة المعتمدة هي (  $26^{\circ}\text{C}$  ) فإن فترة موسم السباحة تزداد، حيث يبدأ هذا الموسم من بداية الثلث الثاني من شهر حزيران ويمتد إلى نهاية الثلث الأول من شهر أيلول.

يوضح الشكل (4-15) مخطط تغيرات الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة غير مغطى إلى درجة حرارة (  $27^{\circ}\text{C}$  )، ونلاحظ أنه وخلال موسم السباحة المحدد سابقاً عند هذه الدرجة فإننا لا نحتاج إلى التسخين المساعد.



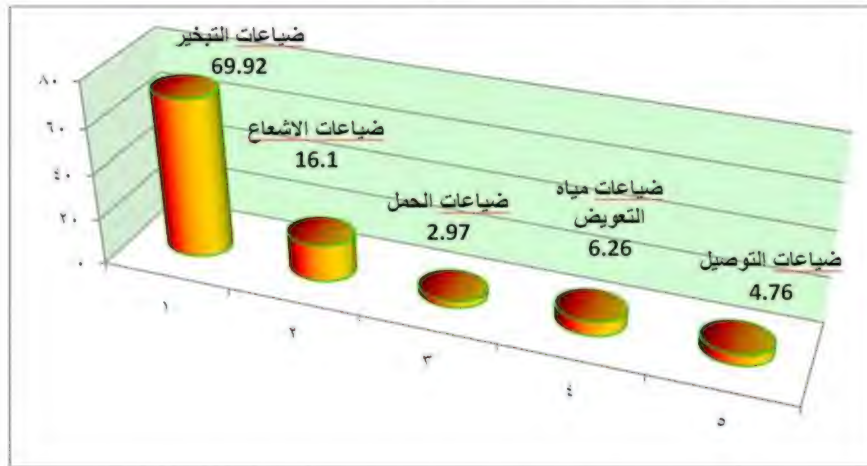
الشكل (4-15) تغيرات الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة

يبين الشكل (a-16-4) مخطط تغيرات كافة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المدروس غير المغطى، ونلاحظ من هذا الشكل أن ضياعات الطاقة الحرارية بالتبخير هي أكبر بكثير من مختلف الضياعات الأخرى.



الشكل (a-16-4) مقارنة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المكشوف

كما يوضح الشكل (b-16-4) النسب المئوية الوسطية لكافة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المدروس غير المغطى.



الشكل (b-16-4) النسب المئوية الوسطية لكافة الضياعات من الحوض

ونلاحظ من الشكل السابق أن ضياع الطاقة من حوض السباحة المكشوف بالتبخير تمثل في النموذج المدروس حسب شروط الحوض والمناخ المحيط نسبة مقدارها (70%) من الضياعات الكلية، ويتأثر هذا الرقم بشكل واضح بعدة عوامل وهي:

فرق درجة الحرارة بين الحوض والوسط المحيط، سرعة الرياح، رطوبة الهواء.

#### 3-4 نتائج التوازن الحراري لنموذج الحوض المغطى:

من قيم البارامترات المناخية ومعادلات التوازن الحراري لنموذج حوض السباحة المغطى المدخلة إلى البرنامج نستطيع حساب القيم اللازمة لإتمام عملية النمذجة لهذا الحوض، وهذه القيم موضحة بالشكل ( 4-17 ):

| With cover | 10 <sub>v</sub> | 11 <sub>v</sub> | 12 <sub>v</sub> | 13 <sub>T<sub>c</sub></sub> | 14 <sub>T<sub>a,day</sub></sub> | 15 <sub>T<sub>a,night</sub></sub> | 16 <sub>T<sub>c,o</sub></sub> |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1..12      | [m/s]           | off [m/s]       | on [m/s]        | [°C]                        | [°C]                            | [°C]                              | [°C]                          |
| Run 1      | 1.08            | 1.35            | 0.894           | 6.67                        | 7.23                            | 3.89                              | 2.0                           |
| Run 2      | 1.17            | 1.44            | 0.947           | 5.00                        | 8.41                            | 4.42                              | 2.3                           |
| Run 3      | 1.23            | 1.49            | 0.972           | 6.67                        | 12.79                           | 7.94                              | 5.8                           |
| Run 4      | 1.23            | 1.47            | 0.946           | 11.25                       | 18.83                           | 13.42                             | 11.3                          |
| Run 5      | 1.14            | 1.34            | 0.862           | 17.50                       | 23.92                           | 18.28                             | 16.4                          |
| Run 6      | 1.08            | 1.26            | 0.809           | 23.75                       | 28.45                           | 23.01                             | 21.1                          |
| Run 7      | 1.11            | 1.30            | 0.834           | 28.33                       | 32.70                           | 26.99                             | 24.9                          |
| Run 8      | 1.08            | 1.29            | 0.826           | 30.00                       | 32.08                           | 26.67                             | 24.7                          |
| Run 9      | 0.94            | 1.13            | 0.732           | 28.33                       | 27.86                           | 22.72                             | 20.9                          |
| Run 10     | 0.97            | 1.18            | 0.774           | 23.75                       | 21.96                           | 17.45                             | 15.8                          |
| Run 11     | 0.91            | 1.13            | 0.746           | 17.50                       | 14.78                           | 10.77                             | 9.3                           |
| Run 12     | 1.08            | 1.36            | 0.899           | 11.25                       | 9.20                            | 5.76                              | 4.4                           |

الشكل (4-17) جدول حساب البارامترات المناخية اللازمة للنموذج

يوضح الشكل (4-18) قيم درجة حرارة حوض السباحة المدروس، قيم الكسب الشمسي السلبي، قيم ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير، والقيم النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) واللييلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والكلية لضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع من حوض السباحة المغطى.

| Parametric Table |                        |                          |                              |                            |                            |                           |                         |
|------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| With cover       | 17 T <sub>p</sub> [°C] | 18 Q <sub>pass</sub> [W] | 19 Q <sub>cond, on</sub> [W] | 20 Q <sub>evaoff</sub> [W] | 21 Q <sub>radoff</sub> [W] | 22 Q <sub>radon</sub> [W] | 23 Q <sub>rad</sub> [W] |
| Run 1            | 7.8                    | 13122                    | 1667                         | 3106                       | 3630                       | 2432                      | 6062                    |
| Run 2            | 8.2                    | 17820                    | 1683                         | 3580                       | 3601                       | 2564                      | 6165                    |
| Run 3            | 12.1                   | 23922                    | 1796                         | 5635                       | 3611                       | 2712                      | 6324                    |
| Run 4            | 18.0                   | 29322                    | 1894                         | 9531                       | 3557                       | 2765                      | 6322                    |
| Run 5            | 23.8                   | 34020                    | 2124                         | 15015                      | 3805                       | 2881                      | 6686                    |
| Run 6            | 28.8                   | 38880                    | 2199                         | 22057                      | 3911                       | 2931                      | 6842                    |
| Run 7            | 31.3                   | 38340                    | 1833                         | 27375                      | 2921                       | 2653                      | 5574                    |
| Run 8            | 31.3                   | 35262                    | 1899                         | 26596                      | 3193                       | 2666                      | 5860                    |
| Run 9            | 28.9                   | 30942                    | 2269                         | 21495                      | 4145                       | 2920                      | 7065                    |
| Run 10           | 23.4                   | 21924                    | 2187                         | 14249                      | 4282                       | 2823                      | 7105                    |
| Run 11           | 16.9                   | 15282                    | 2169                         | 7994                       | 4335                       | 2725                      | 7061                    |
| Run 12           | 10.9                   | 11664                    | 1863                         | 4706                       | 3828                       | 2432                      | 6260                    |

الشكل (4-18) قيم: درجة حرارة الحوض، الكسب الشمسي السلبي

ضياح الطاقة بالتوصيل عبر الغطاء، بالتبخير، وبالإشعاع لحوض سباحة مغطى

يوضح الشكل (4-19) القيم النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والقيم

الليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والقيم الكلية لضياح الطاقة الحرارية بالحمل

ولمياه التعويض من حوض السباحة المغطى.

| Parametric Table |                             |                            |                          |                               |                              |                            |
|------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| With cover       | 24 Q <sub>convoff</sub> [W] | 25 Q <sub>convon</sub> [W] | 26 Q <sub>conv</sub> [W] | 27 Q <sub>makeupoff</sub> [W] | 28 Q <sub>makeupon</sub> [W] | 29 Q <sub>makeup</sub> [W] |
| Run 1            | 318.4                       | -765.5                     | -447.1                   | 1752                          | 1247                         | 2998                       |
| Run 2            | -107.5                      | -880.7                     | -988.3                   | 4438                          | 3677                         | 8115                       |
| Run 3            | -398.3                      | -916.6                     | -1314.9                  | 6834                          | 6670                         | 13504                      |
| Run 4            | -468.2                      | -871.3                     | -1339.5                  | 7771                          | 9208                         | 16979                      |
| Run 5            | -52.93                      | -757.3                     | -810.2                   | 6886                          | 9414                         | 16300                      |
| Run 6            | 180                         | -731.1                     | -551.1                   | 5393                          | 7941                         | 13334                      |
| Run 7            | -699                        | -819.3                     | -1518.4                  | 3253                          | 4590                         | 7842                       |
| Run 8            | -369.2                      | -767.8                     | -1137.0                  | 1538                          | 1899                         | 3437                       |
| Run 9            | 476.8                       | -650.7                     | -173.9                   | 700.3                         | 726.5                        | 1427                       |
| Run 10           | 694.6                       | -636.7                     | 57.9                     | -455.1                        | -397.6                       | -852.7                     |
| Run 11           | 962.7                       | -555.9                     | 406.8                    | -945.1                        | -692.1                       | -1637                      |
| Run 12           | 871                         | -569.6                     | 301.4                    | -571.2                        | -389.4                       | -960.6                     |

الشكل (4-19) قيم ضياح الطاقة بالحمل ومياه التعويض لحوض سباحة مغطى



يوضح الشكل (20-4) القيم النهارية والليلية والكلية لضياع الطاقة الحراري بالتوصيل والضياع الإجمالي من حوض السباحة المغطى.

| With cover | 30 <sub>condoff</sub> [W] | 31 <sub>condw,on</sub> [W] | 32 <sub>cond</sub> [W] | 33 <sub>totloss,off</sub> [W] | 34 <sub>totloss,on</sub> [W] | 35 <sub>totloss</sub> [W] |
|------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Run 1      | 440.3                     | 145.7                      | 586                    | 9247                          | 3059                         | 12306                     |
| Run 2      | 575.6                     | 268                        | 843.6                  | 12007                         | 5628                         | 17715                     |
| Run 3      | 784.1                     | 423.3                      | 1207                   | 16466                         | 8889                         | 25355                     |
| Run 4      | 1020                      | 555.1                      | 1575                   | 21411                         | 11657                        | 33067                     |
| Run 5      | 1283                      | 576.9                      | 1860                   | 26936                         | 12115                        | 39050                     |
| Run 6      | 1577                      | 507                        | 2084                   | 33118                         | 10647                        | 43765                     |
| Run 7      | 1642                      | 321.1                      | 1964                   | 34492                         | 6744                         | 41236                     |
| Run 8      | 1548                      | 189.9                      | 1738                   | 32505                         | 3987                         | 36493                     |
| Run 9      | 1341                      | 149.8                      | 1491                   | 28158                         | 3145                         | 31304                     |
| Run 10     | 938.5                     | 89.46                      | 1028                   | 19708                         | 1879                         | 21587                     |
| Run 11     | 617.4                     | 73.87                      | 691.2                  | 12965                         | 1551                         | 14516                     |
| Run 12     | 441.6                     | 73.66                      | 515.3                  | 9275                          | 1547                         | 10821                     |

الشكل (20-4) قيم ضياع الطاقة بالتوصيل والضياع الإجمالي لحوض سباحة مغطى

يوضح الشكل (21-4) قيم الطاقة الحرارية اللازمة للتسخين المساعد للوصول إلى درجة حرارة مريحة للسباحة عند (27 °C) وكذلك النسب المئوية لكافة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المغطى.

| With cover | 36 $Q_{reg}$ [GJ] | 37 $Z_{cond}$ | 38 $Z_{conv}$ | 39 $Z_{eva}$ | 40 $Z_{makeup}$ | 41 $Z_{rad}$ |
|------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|
| Run 1      | 7.230             | 4.8           | -3.6          | 25.2         | 24.4            | 49.3         |
| Run 2      | 7.091             | 4.8           | -5.6          | 20.2         | 45.8            | 34.8         |
| Run 3      | 5.627             | 4.8           | -5.2          | 22.2         | 53.3            | 24.9         |
| Run 4      | 3.397             | 4.8           | -4.1          | 28.8         | 51.3            | 19.1         |
| Run 5      | 1.197             | 4.8           | -2.1          | 38.4         | 41.7            | 17.1         |
| Run 6      | -0.681            | 4.8           | -1.3          | 50.4         | 30.5            | 15.6         |
| Run 7      | -1.619            | 4.8           | -3.7          | 66.4         | 19.0            | 13.5         |
| Run 8      | -1.627            | 4.8           | -3.1          | 72.9         | 9.4             | 16.1         |
| Run 9      | -0.709            | 4.8           | -0.6          | 68.7         | 4.6             | 22.6         |
| Run 10     | 1.348             | 4.8           | 0.3           | 66.0         | -4.0            | 32.9         |
| Run 11     | 3.813             | 4.8           | 2.8           | 55.1         | -11.3           | 48.6         |
| Run 12     | 6.072             | 4.8           | 2.8           | 43.5         | -8.9            | 57.8         |

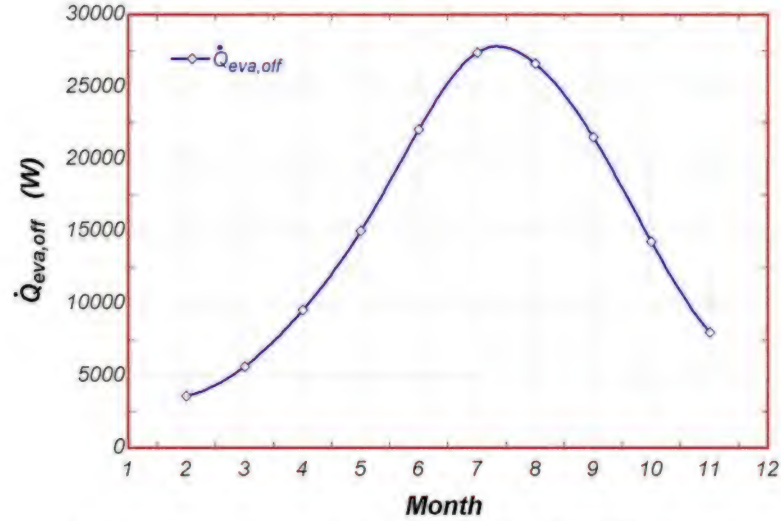
الشكل (4-21) الطاقة اللازمة للتسخين المساعد والنسب المئوية للضياعات لحوض مغطى

#### 4-4 المخططات البيانية لنتائج النمذجة لحوض السباحة المغطى:

يوضح الشكل (4-22) ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير، وهذا الضياع

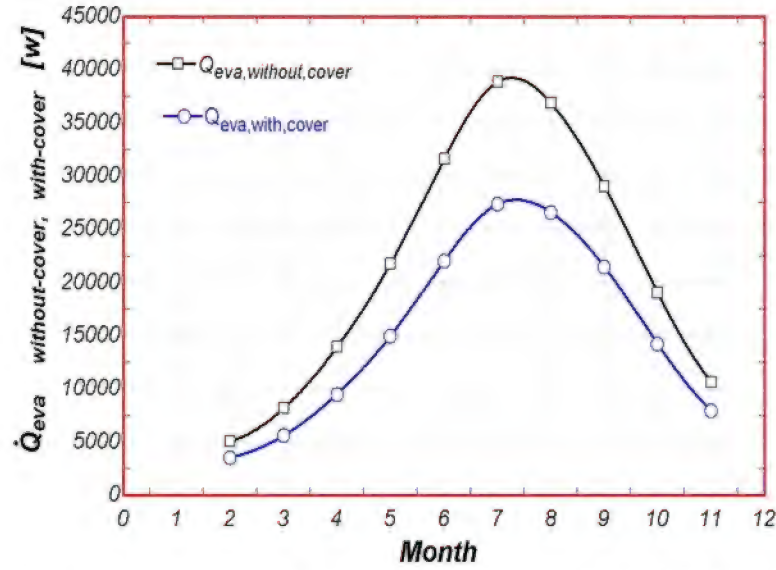
يكون نهائياً فقط (عندما يكون الغطاء مرفوعاً)، ونلاحظ من هذا المخطط أن هذا

الضياع يكون أعظمياً خلال النصف الثاني من شهر تموز.



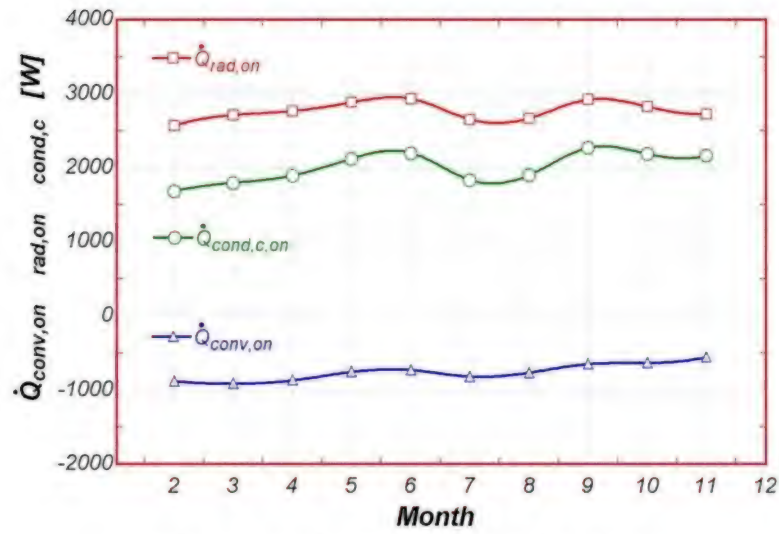
الشكل (4-22) ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير من حوض السباحة المغطى

يوضح الشكل (4-23) مقارنة بين التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالتبخير لحوض سباحة (مكتشف، مغطى)، حيث نلاحظ أن أعظم قيمة لضياع الطاقة بالتبخير لحوض سباحة مكتشف هي (38.9 kw)، أما في حالة تغطية الحوض فنلاحظ انخفاض قيمة هذا الضياع إلى (27.4 kw).



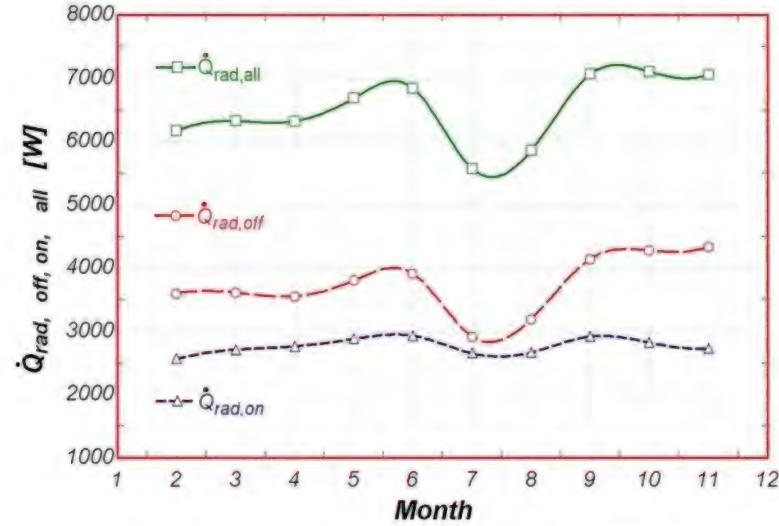
الشكل (4-23) مقارنة بين ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير لحوض (مكتشف، مغطى)

يوضح الشكل (4-24) مخطط تغيرات ضياع الطاقة الحرارية من ماء الحوض بالتوصيل عبر غطاء الحوض ليلاً، ومن سطح هذا الغطاء يتم طرح هذه الطاقة الحرارية إلى الوسط المحيط عن طريق الإشعاع والحمل.



الشكل (4-24) ضياع الطاقة بالتوصيل عبر غطاء الحوض  
وبالإشعاع والحمل من سطح الغطاء إلى الوسط المحيط

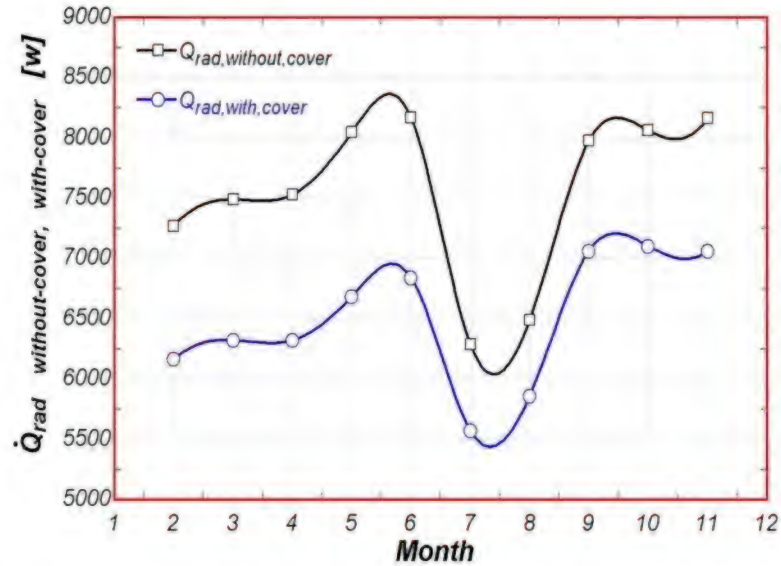
يوضح الشكل (4-25) مخطط التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية  
بالإشعاع من حوض السباحة، التغيرات النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً)  
والليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والتغيرات الكلية.



الشكل (4-25) تغيرات ضياع الطاقة بالإشعاع من حوض السباحة المغطى

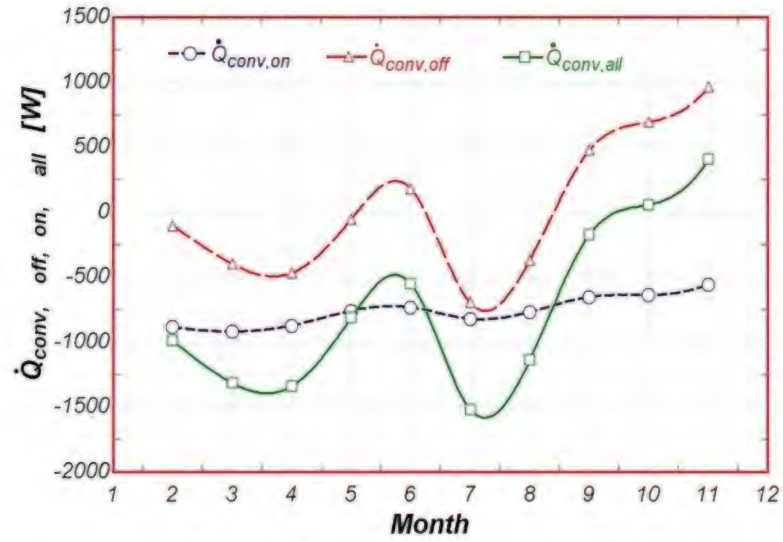


يوضح الشكل (4-26) مقارنة بين التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع لحوض سباحة (مكتشف، مغطى)، حيث نلاحظ أن أعظم قيمة لضياع الطاقة بالإشعاع لحوض سباحة مكتشف هي (8.4 kw)، أما في حالة تغطية الحوض فنلاحظ انخفاض قيمة هذا الضياع إلى (7.25 kw).



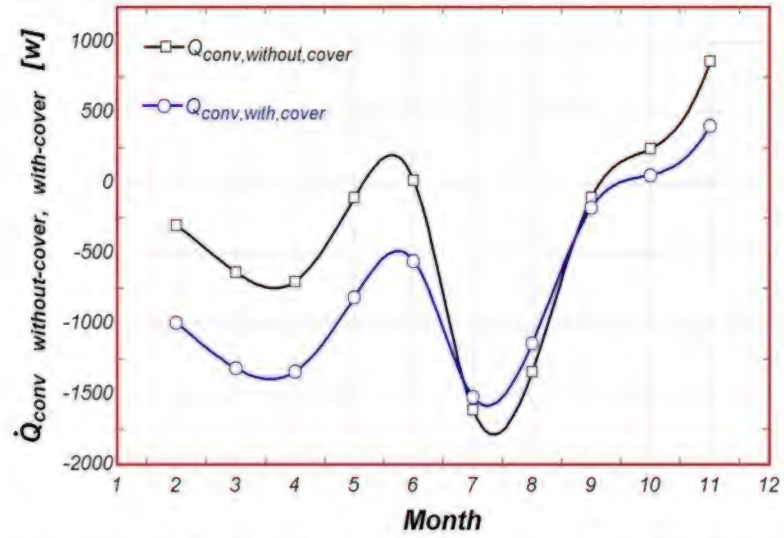
الشكل (4-26) مقارنة بين ضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع لحوض (مكتشف، مغطى)

يوضح الشكل (4-27) مخطط التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالحمل من حوض السباحة المغطى، التغيرات النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والليالية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والتغيرات الكلية.



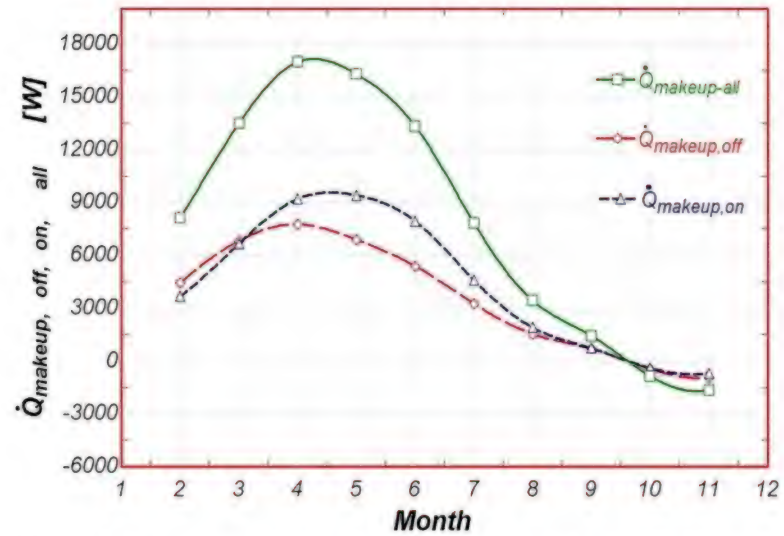
الشكل (4-27) تغيرات ضياع الطاقة بالحمل من حوض السباحة المغطى

يوضح الشكل (4-28) مقارنة بين التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالحمل لحوض سباحة (مكتشف، مغطى)، حيث نلاحظ أن أعظم قيمة خلال موسم السباحة لضياع الطاقة بالحمل لحوض سباحة مكتشف هي (250 w)، أما في حالة تغطية الحوض فنلاحظ انخفاض قيمة هذا الضياع إلى (-500 w).



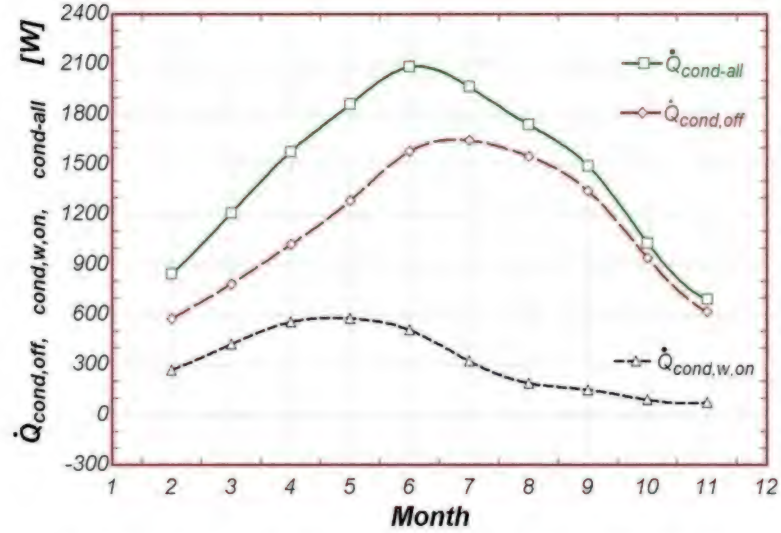
الشكل (28-4) مقارنة بين ضياع الطاقة الحرارية بالحمل لحوض (مكشوف، مغطى)

يوضح الشكل (29-4) مخطط التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية لمياه التعويض من حوض السباحة المغطى، التغيرات النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والليالية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والتغيرات الكلية.



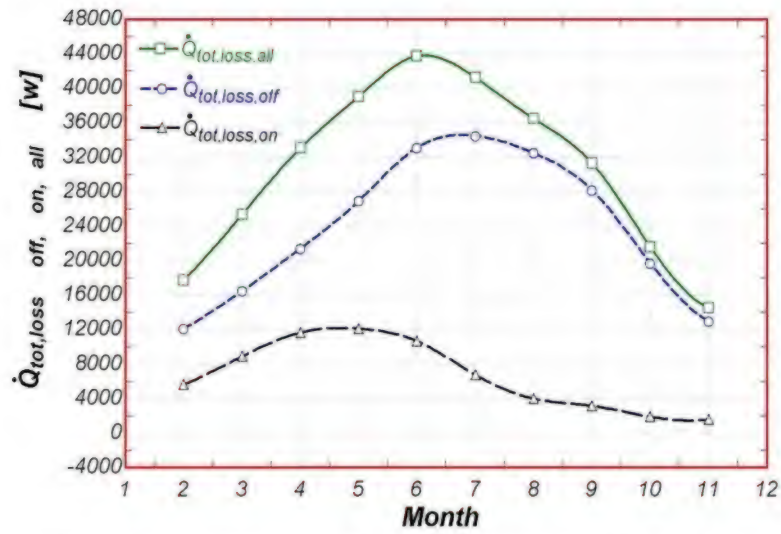
الشكل (29-4) تغيرات ضياع الطاقة لمياه التعويض من حوض السباحة المغطى

يوضح الشكل (4-30) مخطط التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالتوصيل من حوض السباحة المغطى، التغيرات النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والتغيرات الكلية.



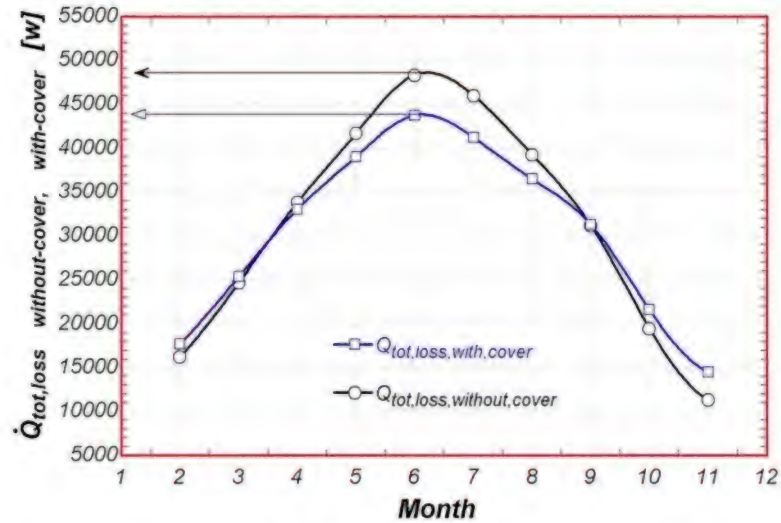
الشكل (4-30) تغيرات ضياع الطاقة بالتوصيل من حوض السباحة المغطى

يوضح الشكل (4-31) مخطط التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية الإجمالي من حوض السباحة المغطى، التغيرات النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والتغيرات الكلية.



الشكل (31-4) تغيرات ضياع الطاقة الإجمالي من حوض السباحة المغطى

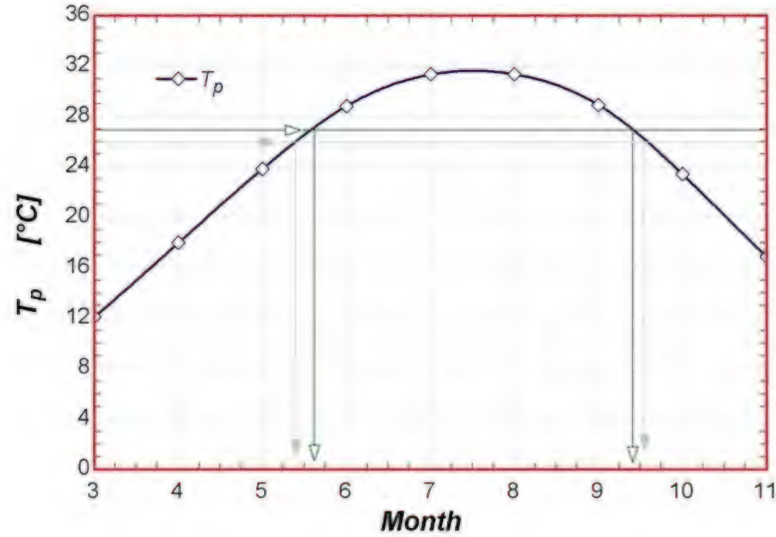
يوضح الشكل (32-4) مقارنة بين التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية الإجمالي لحوض سباحة (مكشوف، مغطى)، حيث نلاحظ أن أعظم قيمة لضياع الطاقة الإجمالي لحوض سباحة مكشوف هي (48.5 kw)، أما في حالة تغطية الحوض فنلاحظ انخفاض قيمة هذا الضياع إلى (43.8 kw).



الشكل (32-4) مقارنة بين ضياع الطاقة الحرارية الإجمالي لحوض (مكشوف، مغطى)



يوضح الشكل (4-33) مخطط التغيرات الشهرية لدرجة الحرارة في حوض السباحة المغطى ليلاً.



الشكل (4-33) التغيرات الشهرية لدرجة حرارة الحوض المغطى

نلاحظ أن درجة حرارة الحوض المغطى المدروس تصل إلى القيمة الأعظمية (  $31.8^{\circ}\text{C}$  ) عند نهاية شهر تموز، وبما أن درجة حرارة ماء الحوض الموصى بها للسباحة هي (  $26-27^{\circ}\text{C}$  ) فإننا نلاحظ من هذا الشكل ما يلي:

← عندما تكون درجة حرارة السباحة المعتمدة هي (  $27^{\circ}\text{C}$  ) فإن موسم السباحة المريح يبدأ من منتصف الأسبوع الأول من شهر حزيران وحتى منتصف الأسبوع الرابع من شهر أيلول.

← عندما تكون درجة حرارة السباحة المعتمدة هي (  $26^{\circ}\text{C}$  ) فإن فترة موسم السباحة تزداد، حيث يبدأ هذا الموسم من منتصف الأسبوع الرابع من شهر أيار ويمتد إلى اليوم الثاني من شهر تشرين الأول.

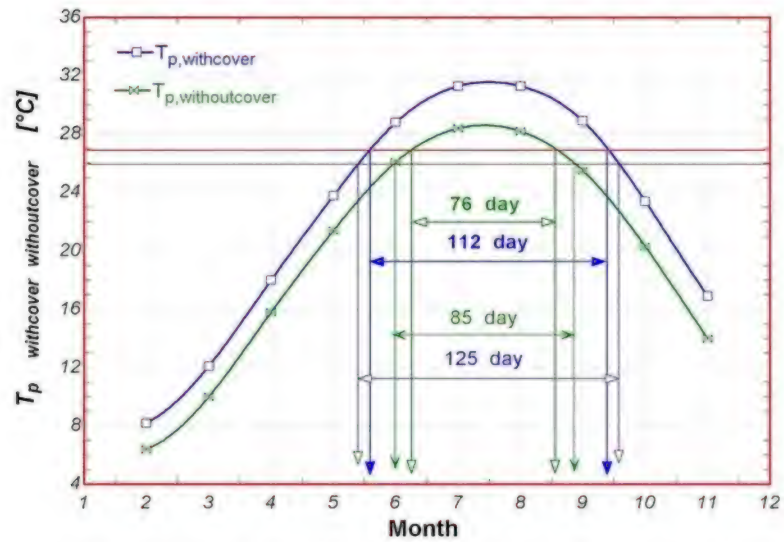
يوضح الشكل (4-34) مقارنة بين موسم السباحة لحوض سباحة (مكتشف، مغطى)، حيث نلاحظ أن مدة موسم السباحة عند اعتماد درجة الحرارة  $(27^{\circ}\text{C})$  لـ:

■ حوض مكتشف هي: / 76 / يوماً. ■ حوض مغطى هي: / 112 / يوماً.

أما مدة موسم السباحة عند اعتماد درجة الحرارة  $(26^{\circ}\text{C})$  لـ:

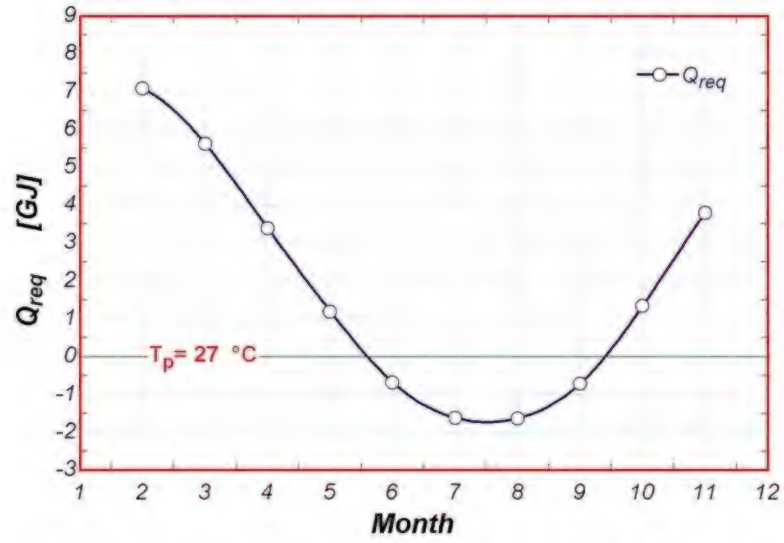
■ حوض مكتشف هي: / 85 / يوماً. ■ حوض مغطى هي: / 125 / يوماً.

أي أن تغطية حوض السباحة ليلاً سوف يؤدي إلى زيادة فترة موسم السباحة بنسبة مقدارها (47 %).



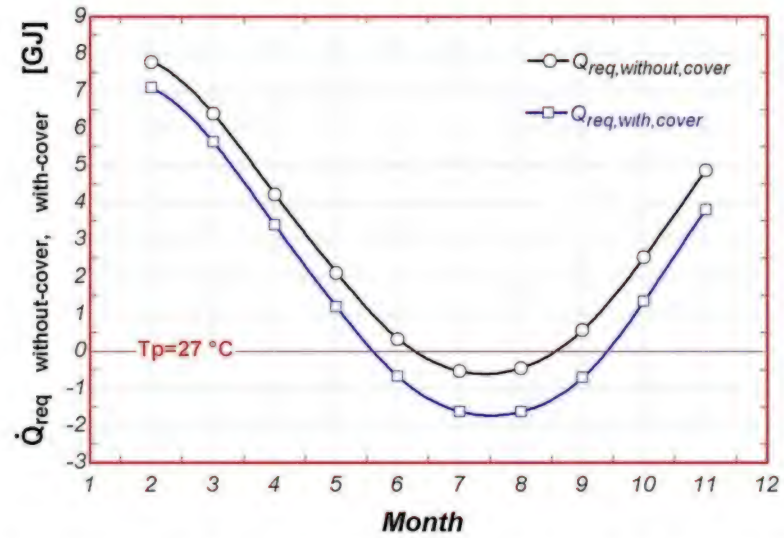
الشكل (4-34) مقارنة موسم السباحة في حوض سباحة (مكتشف، مغطى)

يوضح الشكل (4-35) مخطط تغيرات الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة المغطى إلى درجة حرارة  $(27^{\circ}\text{C})$ ، ونلاحظ أنه وخلال موسم السباحة المحدد سابقاً عند هذه الدرجة فإننا لا نحتاج إلى التسخين المساعد.



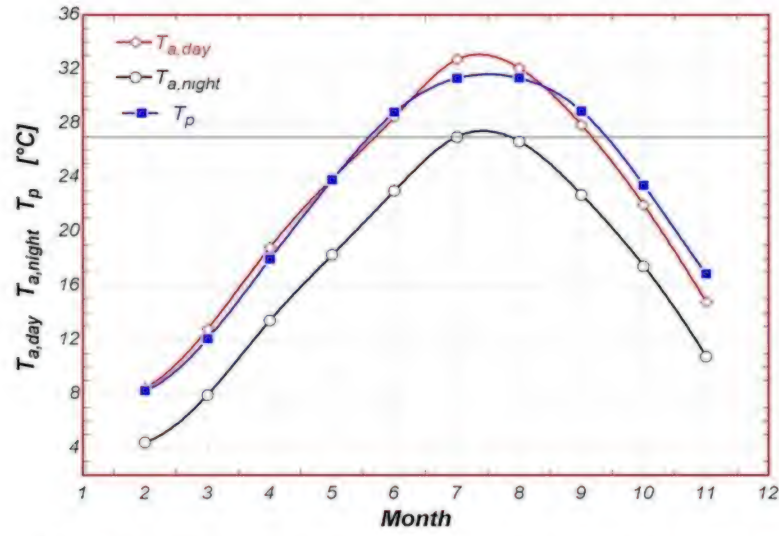
الشكل (4-35) الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين الحوض المغطى إلى (27 °C)

يوضح الشكل (4-36) مقارنة تغيرات الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة (مكتشوف، مغطى) إلى درجة حرارة (27 °C)، وهنا نلاحظ أن تغطية حوض السباحة ليلاً سوف يؤدي إلى توفير في الطاقة بمقدار (27%).



الشكل (4-36) مقارنة الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة (مكتشوف، مغطى)



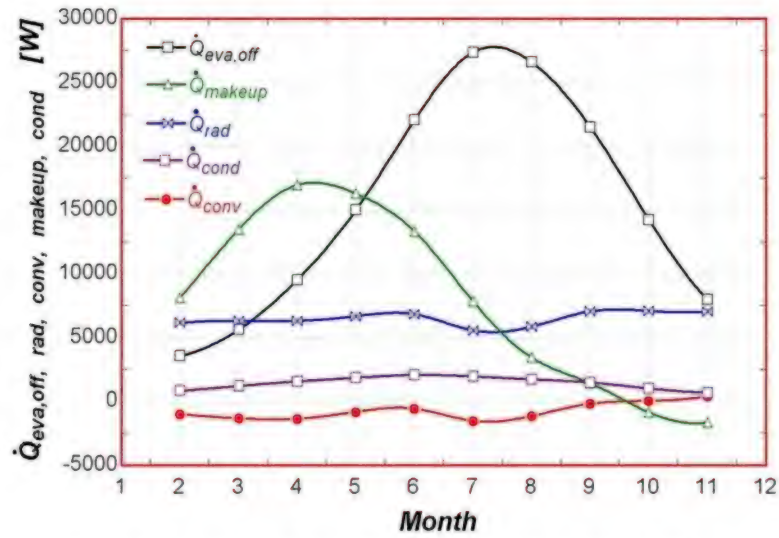


الشكل (4-37) مقارنة تغيرات درجة حرارة الحوض مع الهواء نهاراً وليلاً

يبين الشكل (4-38) مخطط تغيرات كافة ضياعات الطاقة الحرارية من

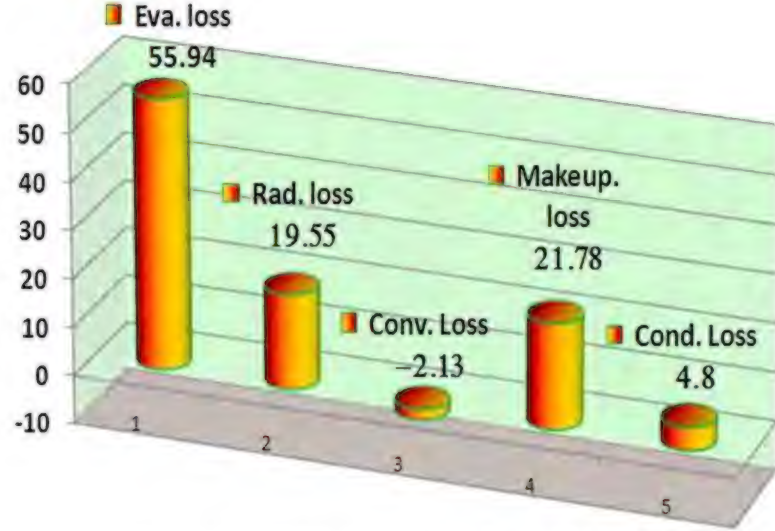
حوض السباحة المغطى المدروس، ونلاحظ من هذا المخطط أن ضياعات الطاقة

الحرارية بالتبخير تبقى هي الأكبر من مختلف الضياعات الأخرى.



الشكل (4-38) مقارنة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المغطى

كما يوضح الشكل (4-39) النسب المئوية لكافة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المغطى المدروس.

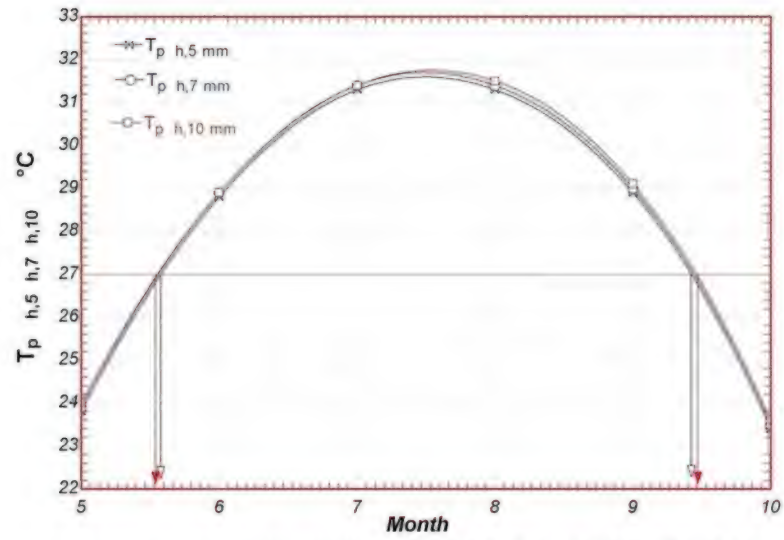


الشكل (4-39) النسب المئوية الوسطية لكافة الضياعات من الحوض

نلاحظ من الشكل السابق أن ضياع الطاقة من حوض السباحة المكتشف بالتبخير تمثل في النموذج المدروس حسب شروط الحوض والمناخ المحيط نسبة مقدارها (56%) من الضياعات الكلية.

#### 4-5 تأثير ارتفاع فقاعة الهواء في غطاء حوض السباحة:

بدراسة تأثير ارتفاع فقاعة الهواء لغطاء الحوض (h) على تغيرات درجة الحرارة الشهرية لحوض السباحة المغطى، فقد تم اعتماد ثلاث قيم لهذا الارتفاع وهي: (h = 5, 7, 10 mm) وبنتيجة النمذجة كان لدينا المخطط المبين بالشكل (4-40) حيث نلاحظ في هذا المخطط أن موسم السباحة يبدأ قبل يومان، وينتهي بعد ثلاثة أيام، وبالتالي فإن مضاعفة ارتفاع فقاعة الهواء لغطاء الحوض سيؤدي إلى زيادة طفيفة في موسم السباحة مدتها خمسة أيام فقط.



الشكل (40-4) تأثير ارتفاع فقاعة الهواء للغطاء على درجة حرارة الحوض

#### 6-4 تأثير إصدارية غطاء حوض السباحة:

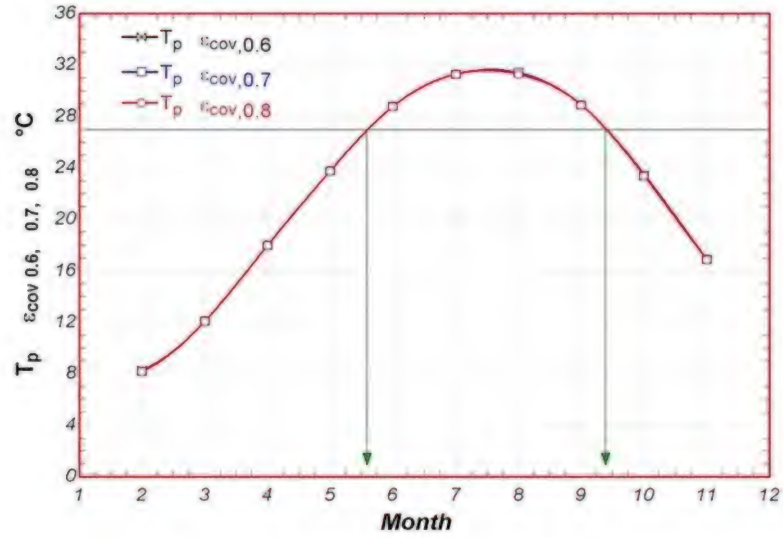
يبين الشكل (41-4) ألوان مختلفة لأغطية المسابح ذات إصدارية ( $\epsilon_{cov}$ ) مختلفة.



الشكل (41-4) أغطية لأحواض المسابح ذات قيم إصدارية مختلفة

وبدراسة تأثير إصدارية غطاء الحوض ( $\epsilon_{cov}$ ) على تغيرات درجة الحرارة الشهرية لحوض السباحة المغطى، تم اعتماد ثلاث قيم لهذه الإصدارية وهي:

( $\varepsilon_{cov} = 0.6, 0.7, 0.8$ )، وبنتيجة النمذجة كان لدينا المخطط المبين بالشكل (42-4) حيث نلاحظ في هذا المخطط أن المنحنيات الثلاث متطابقة تماماً، أي أنه لا تأثير لتغير إصدارية الغطاء على درجة حرارة الحوض المغطى، وبالتالي لا تأثير لهذه الإصدارية على تغير فترة موسم حوض السباحة المغطى.



الشكل (42-4) تأثير إصدارية غطاء الحوض على درجة حرارة الحوض

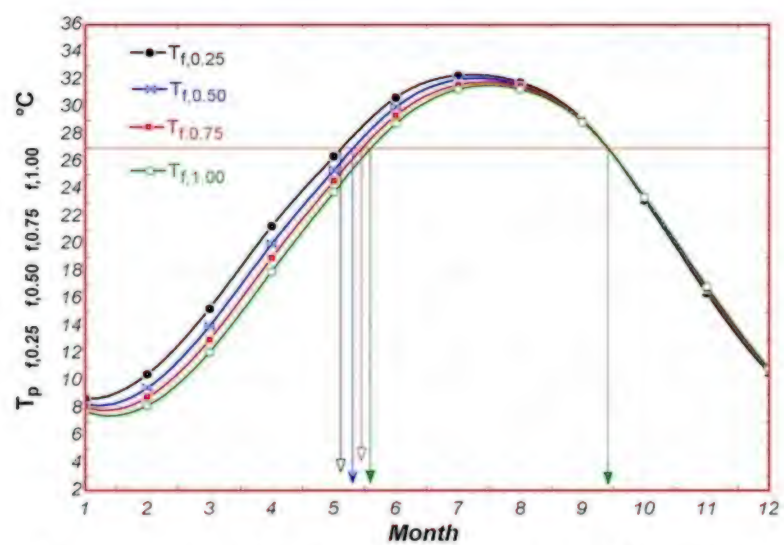
#### 7-4 تأثير معامل نسبة ماء التجديد ( $f_{makeup}$ ) على درجة حرارة الحوض:

بدراسة تأثير معامل نسبة ماء التجديد ( $f_{makeup}$ ) المدخلة إلى حوض السباحة أسبوعياً، على تغيرات درجة الحرارة الشهرية لحوض السباحة المغطى، فقد تم اعتماد أربع قيم لهذا المعامل وهي:

( $f_{makeup} = 0.25, 0.50, 0.75, 1.00$ ) وبنتيجة النمذجة كان لدينا المخطط

المبين بالشكل (43-4) حيث نلاحظ في هذا المخطط أنه بتخفيض قيمة المعامل

$f_{makeup}$  من 1/ إلى 0.25/ فإن موسم السباحة يبدأ قبل أسبوعين.



الشكل (43-4) تأثير معامل نسبة ماء التجديد على درجة حرارة الحوض المغطى

## الفصل الخامس

### الاستنتاجات والتوصيات

لقد تم في هذا البحث نمذجة التوازن الحراري لحوض سباحة مكشوف في مدينة حلب باستخدام برنامج النمذجة الحرارية (EES)، حيث تم من خلال هذا البرنامج حساب مقدار الكسب الشمسي وحساب كافة الضياعات الحرارية للحوض وكذلك تم تحديد فترة موسم السباحة، وذلك بالاعتماد على البيانات المناخية لمدينة حلب.

تبين من نتائج هذه الدراسة أن مدة موسم السباحة لحوض مكشوف عند درجة حرارة مريحة للسباحة ( $27^{\circ}\text{C}$ ) هي /76/ يوماً، حيث سيبدأ موسم السباحة من بداية الأسبوع الرابع من شهر حزيران وحتى منتصف الأسبوع الأول من شهر أيلول، أما إذا كانت درجة الحرارة المريحة للسباحة المعتمدة هي ( $26^{\circ}\text{C}$ ) فإن مدة موسم السباحة هي /85/ يوماً، وهنا سيبدأ موسم السباحة من بداية الثلث الثاني من حزيران ولينتهي عند الثلث الأول من شهر أيلول.

تم في هذا البحث نمذجة التوازن الحراري لحوض سباحة في حالة تغطية سطحه بغطاء يتألف من رقائق بلاستيكية يحتوي على فقاعات هوائية، الأمر الذي سيؤدي إلى تخفيض الضياعات الحرارية من الحوض.

وقد تبين من نتائج دراسة حوض سباحة مغطى أن مدة موسم السباحة عند درجة حرارة مريحة للسباحة ( $27^{\circ}\text{C}$ ) هي /112/ يوماً، حيث سيبدأ موسم السباحة من منتصف الأسبوع الأول من حزيران إلى منتصف الأسبوع الرابع من أيلول، أما إذا كانت درجة الحرارة المريحة للسباحة المعتمدة هي ( $26^{\circ}\text{C}$ ) فإن مدة موسم السباحة هي /125/ يوماً، وهنا سيبدأ موسم السباحة من منتصف الأسبوع الرابع من شهر أيار ولينتهي في اليوم الثاني من تشرين الأول.



من مقارنة نتائج النمذجة بين حوض سباحة مكشوف وحوض سباحة مغطى نجد أن تغطية حوض السباحة سوف تؤدي إلى زيادة موسم السباحة بنسبة مقدارها (47 %).

كما أن تغطية حوض السباحة سوف تؤدي إلى انخفاض في مقدار الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين ماء الحوض إلى درجة حرارة مريحة للسباحة، فعند درجة حرارة للحوض ( $27^{\circ}\text{C}$ ) فإن نسبة التخفيض التي حصلنا عليها من هذه الدراسة هي (27 %).

تمت أيضاً دراسة تأثير تغير معامل نسبة ماء التجديد المدخلة إلى الحوض ( $f_{\text{makeup}}$ ) على طول فترة موسم السباحة، وقد تبين من نتائج هذه الدراسة أن تخفيض قيمة هذا المعامل من  $1/$  إلى  $0.25/$  سوف يؤدي إلى بداية لفترة موسم السباحة قبل أسبوعين.

كما تمت دراسة تأثير مواصفات غطاء الحوض على فترة موسم السباحة، فتبين أن مضاعفة ارتفاع فقاعة الهواء بالغطاء سيؤدي إلى زيادة طفيفة لموسم السباحة، حيث سيبدأ موسم السباحة قبل يومان وسينتهي بعد ثلاثة أيام من الموسم المحدد عند درجة حرارة للحوض ( $27^{\circ}\text{C}$ ).

أما تأثير إصدارية غطاء الحوض ( $\varepsilon_{\text{cov}}$ ) على طول فترة موسم السباحة، فقد بينت الدراسة التي تمت على عدة قيم لهذه الإصدارية، أنه لا تأثير لتغير إصدارية الغطاء المستخدم على طول فترة موسم السباحة.

وبالتالي ومن نتائج هذه الدراسة، فإننا نوصي باستخدام الفلتر بالمسابح، وذلك لأن التقليل من نسبة ماء التجديد سيؤدي إلى زيادة موسم السباحة. كذلك وبما أنه يوجد تأثير واضح للرياح على ضياع الطاقة من الحوض، فإننا نوصي بدراسة وإيجاد الوسائل المناسبة الكفيلة بتخفيض هذا الضياع. وأخيراً وبسبب الكلفة العالية للطاقة التقليدية المتبعة بالتسخين المساعد للوصول إلى درجة حرارة مريحة للسباحة، فإننا نوصي بدراسة تأمين الطاقة المساعدة لتسخين الأحواض باستخدام الطاقات البديلة.

## المراجع

- 1- CZARNECKI J.T., 1978- Swimming Pool Heating by Solar Energy. CSIRO Division of Mechanical Engineering Technical Report TR 19.
- 2- CZARNECKI J.T., 1981- Selected Aspects of Solar Swimming Pool Heating, Division of Mechanical Engineering. Technical Report. No. TR29.
- 3- ASHRAE., 2001- Handbook - Fundamentals, SI Edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, chapter 6, USA.
- 4- SMITH C.C.; LOF G.; JONES R., 1994- *Measurement and Analysis of Evaporation from an Inactive Outdoor Swimming Pool*, *Solar Energy*, 53, 1, 3-7.
- 5- HAHNE E.; KÜBLER R., 1994- Monitoring and Simulation of the Thermal Performance of Solar Heated Outdoor Swimming Pools, *Solar Energy* 53, 1, pp. 9-19.
- 6- KALOGIROU S., 2009- Solar energy engineering: processes and systems. Elsevier Inc, 1<sup>st</sup> Ed, London, 756.
- 7- SWINBANK W.C., 1963- Long-Wave Radiation from Clear Skies, *Quarterly J. Royal Meteorological Soc.*, 89, 339-348.
- 8- حمود بسام، 2004- نظام الطاقات المتجددة. المركز العربي للتعبير والتأليف والنشر بدمشق، الجمهورية العربية السورية، 314.
- 9- DUFFIE J.A.; BECKMAN W.A., 1991- *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2<sup>nd</sup> Ed, John Wiley & Sons.
- 10- المصري رضوان عبد الغني، 1996- مبادئ الطاقة الشمسية الحرارية وتطبيقاتها. الطبعة الأولى، المؤلف، حلب، سوريا، 189.
- 11-ISO/TR 12596:1995 (E), 1995, Solar Heating—Swimming Pool Heating Systems—Dimensions, Design and Installation Guidelines.
- 12-SZEICZ G.; MCMONAGLE R.C., 1983- The Heat Balance Of Urban Swimming Pools. *Solar Energy*, 30(3), 247-259.



- 13-<http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=fa961@yahoo.com>
- 14-CHARBONNEAU P.; KNAPP B., 2005- Engineering Equation Solver for Microsoft Windows Operating Commercial and Professional. S. A. Klein, 7.358nd Ed, 303.
- 15-D. Coughi, P. Hesse and T. Schiller, May/June 1996, "Swimming Pools Soak Up the Sun," Home Energy, 13(3), pp. 37-42.
- 16-R. Messenger and S. Hayes; November 3, 1986- "Running Pump Less Often is More Efficient," Pool & Spa News 25(21): 142, 144, 186.
- 17-K. R. Cooley, 1970- Energy Relations in the design of floating covers for evaporation reduction. Water Resources Research 6,717-727 .
- 18-J. L. A. Francey, P. Golding and R. Clarke, 1981, Low-cost solar heating of community pools using pool covers. Solar Energy 25(5), 407-416.
- 19-E. H. Hobbs, 1961- Reduction of Evaporation by Monomolecular Films. Proc. Hyd. Symp. 2, 233-240. National Research Council of Canada.
- 20- نحاس أحمد، 1987- انتقال الحرارة. الطبعة الأولى، منشورات جامعة حلب، سوريا.
- 21-Cover material that maximises solar gain to heat your pool  
[www.plastipack.co.uk](http://www.plastipack.co.uk)
- 22-Technical Specification  
[www.plastipack.co.uk](http://www.plastipack.co.uk)

## الملحق

جدول رقم 1/ الوسطي الشهري: للإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي،

دليل وضوح السماء، وعدد ساعات النهار لمدينة حلب



NASA Surface meteorology and Solar Energy -  
Available Tables



Latitude 36.12 / Longitude 37.1 was chosen.

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface At Indicated GMT  
Times (kW/m<sup>2</sup>)

| Lat 36.12<br>Lon 37.1 | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Average@00            | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  |
| Average@03            | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  |
| Average@06            | 0.12 | 0.19 | 0.32 | 0.43 | 0.53 | 0.60 | 0.56 | 0.50 | 0.43 | 0.30 | 0.19 | 0.12 |
| Average@09            | 0.35 | 0.45 | 0.56 | 0.67 | 0.74 | 0.87 | 0.86 | 0.81 | 0.74 | 0.56 | 0.41 | 0.32 |
| Average@12            | 0.26 | 0.35 | 0.45 | 0.53 | 0.62 | 0.69 | 0.71 | 0.65 | 0.55 | 0.36 | 0.25 | 0.21 |
| Average@15            | n/a  | n/a  | n/a  | 0.12 | 0.17 | 0.23 | 0.24 | 0.16 | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  |
| Average@18            | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  |
| Average@21            | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  | n/a  |

Monthly Averaged Insolation Clearness Index (0 to 1.0)

| Lat 36.12<br>Lon 37.1 | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  | Annual<br>Average |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|
| 22-year Average<br>K  | 0.47 | 0.50 | 0.53 | 0.55 | 0.59 | 0.66 | 0.67 | 0.65 | 0.64 | 0.56 | 0.51 | 0.45 | 0.56              |
| Minimum K             | 0.37 | 0.40 | 0.38 | 0.51 | 0.47 | 0.59 | 0.63 | 0.61 | 0.59 | 0.49 | 0.42 | 0.32 | 0.48              |
| Maximum K             | 0.60 | 0.60 | 0.65 | 0.61 | 0.65 | 0.71 | 0.70 | 0.70 | 0.71 | 0.63 | 0.59 | 0.58 | 0.64              |

Monthly Averaged Daylight Hours (hours)

| Lat 36.12<br>Lon 37.1 | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Average               | 10.0 | 10.9 | 11.9 | 13.1 | 14.0 | 14.5 | 14.3 | 13.5 | 12.4 | 11.3 | 10.2 | 9.76 |



## جدول رقم 2/

الوسطى الشهري لأهم البارامترات المناخية لمدينة حلب



NASA Surface meteorology and Solar Energy



Latitude 36.12 / Longitude 37.1 was chosen.

| Month           | Air temperature | Relative humidity | Daily solar radiation - horizontal | Atmospheric pressure | Wind speed | Earth temperature | Heating degree-days | Cooling degree-days |
|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------------------|----------------------|------------|-------------------|---------------------|---------------------|
|                 | °C              | %                 | kWh/m <sup>2</sup> /d              | kPa                  | m/s        | °C                | °C-d                | °C-d                |
| January         | 5.2             | 71.0%             | 2.29                               | 95.3                 | 3.7        | 5.4               | 392                 | 0                   |
| February        | 6.2             | 64.3%             | 3.16                               | 95.1                 | 4.0        | 7.0               | 337                 | 3                   |
| March           | 10.1            | 56.7%             | 4.41                               | 94.9                 | 4.2        | 12.2              | 251                 | 42                  |
| April           | 15.8            | 50.1%             | 5.51                               | 94.8                 | 4.2        | 19.4              | 92                  | 170                 |
| May             | 20.8            | 44.8%             | 6.58                               | 94.7                 | 3.9        | 25.6              | 18                  | 326                 |
| June            | 25.3            | 38.4%             | 7.68                               | 94.4                 | 3.7        | 31.0              | 0                   | 454                 |
| July            | 29.3            | 31.6%             | 7.59                               | 94.1                 | 3.8        | 36.1              | 0                   | 596                 |
| August          | 28.9            | 34.1%             | 6.73                               | 94.3                 | 3.7        | 35.3              | 0                   | 582                 |
| September       | 25.1            | 37.3%             | 5.63                               | 94.7                 | 3.2        | 29.9              | 0                   | 444                 |
| October         | 19.5            | 46.1%             | 3.90                               | 95.1                 | 3.3        | 22.0              | 23                  | 289                 |
| November        | 12.3            | 57.1%             | 2.67                               | 95.3                 | 3.1        | 13.1              | 168                 | 93                  |
| December        | 6.9             | 68.7%             | 2.03                               | 95.4                 | 3.5        | 7.0               | 338                 | 8                   |
| <b>Annual</b>   | 17.1            | 50.0%             | 4.85                               | 94.8                 | 3.7        | 20.3              | 1619                | 3007                |
| Measured at (m) |                 |                   |                                    |                      | 10.0       | 0.0               |                     |                     |



## جدول رقم /3/

## درجة حرارة الهواء الأعظمية لمدينة حلب



NASA Surface meteorology and Solar Energy:  
Interannual Variability



Latitude 36.12 / Longitude 37.1 was chosen.

## Maximum Air Temperature At 10 m Above The Surface Of The Earth (°C)

| Year        | Jan   | Feb   | Mar   | Apr   | May   | Jun   | Jul   | Aug   | Sep   | Oct   | Nov   | Dec   | Annual |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1983        | 5.65  | 9.23  | 14.37 | 19.26 | 25.05 | 30.71 | 33.60 | 33.05 | 30.78 | 24.00 | 18.09 | 13.26 | 21.49  |
| 1984        | 11.13 | 13.35 | 15.87 | 19.57 | 27.52 | 31.60 | 34.77 | 32.38 | 32.13 | 26.21 | 13.95 | 8.95  | 22.31  |
| 1985        | 9.96  | 7.61  | 14.12 | 21.67 | 27.84 | 31.46 | 33.79 | 36.96 | 30.98 | 22.27 | 18.28 | 10.28 | 22.18  |
| 1986        | 9.17  | 9.66  | 15.19 | 22.50 | 22.37 | 29.71 | 35.66 | 35.91 | 31.81 | 23.32 | 12.54 | 9.66  | 21.53  |
| 1987        | 9.84  | 11.95 | 10.45 | 18.89 | 26.33 | 30.51 | 35.23 | 33.98 | 30.90 | 21.31 | 15.18 | 9.45  | 21.21  |
| 1988        | 7.09  | 8.88  | 11.71 | 19.24 | 26.11 | 29.45 | 34.73 | 34.21 | 29.84 | 21.64 | 13.51 | 10.49 | 20.61  |
| 1989        | 5.39  | 10.22 | 15.92 | 26.52 | 27.22 | 30.62 | 35.35 | 33.71 | 29.02 | 21.34 | 16.76 | 10.49 | 21.93  |
| 1990        | 7.04  | 9.82  | 16.03 | 21.37 | 27.20 | 30.78 | 35.50 | 33.78 | 30.45 | 25.35 | 20.32 | 13.58 | 22.67  |
| 1991        | 9.24  | 10.34 | 16.24 | 22.01 | 25.44 | 31.79 | 34.15 | 34.39 | 30.03 | 23.66 | 16.36 | 7.93  | 21.86  |
| 1992        | 5.13  | 5.44  | 12.84 | 21.08 | 24.80 | 28.32 | 32.39 | 34.23 | 29.22 | 25.58 | 16.38 | 6.32  | 20.19  |
| 1993        | 6.81  | 7.14  | 13.89 | 20.18 | 22.36 | 30.31 | 35.12 | 34.15 | 30.59 | 26.31 | 13.28 | 12.65 | 21.15  |
| 1994        | 10.64 | 10.27 | 15.62 | 24.00 | 27.39 | 31.13 | 34.74 | 34.28 | 33.52 | 27.52 | 15.44 | 8.01  | 22.78  |
| 1995        | 10.01 | 12.72 | 16.83 | 20.55 | 27.68 | 30.63 | 32.83 | 34.73 | 29.32 | 23.63 | 15.07 | 11.71 | 22.20  |
| 1996        | 8.86  | 12.36 | 13.46 | 18.47 | 28.76 | 31.99 | 37.39 | 35.08 | 28.88 | 22.37 | 19.22 | 12.78 | 22.50  |
| 1997        | 9.85  | 8.99  | 11.50 | 18.65 | 28.09 | 28.86 | 34.06 | 32.06 | 28.01 | 23.00 | 17.38 | 11.49 | 21.07  |
| 1998        | 8.11  | 9.80  | 13.89 | 22.13 | 26.39 | 31.85 | 36.71 | 36.89 | 29.21 | 25.46 | 19.58 | 12.13 | 22.75  |
| 1999        | 9.73  | 11.17 | 14.89 | 20.21 | 27.49 | 27.51 | 34.01 | 32.21 | 27.00 | 20.88 | 15.48 | 13.28 | 21.22  |
| 2000        | 6.66  | 8.51  | 13.60 | 20.86 | 24.21 | 32.12 | 37.99 | 34.49 | 28.96 | 22.19 | 18.53 | 10.76 | 21.61  |
| 2001        | 10.72 | 12.22 | 20.11 | 22.93 | 25.16 | 32.59 | 36.40 | 34.35 | 30.38 | 24.46 | 16.52 | 11.09 | 23.14  |
| 2002        | 8.21  | 13.57 | 17.52 | 19.52 | 25.12 | 31.60 | 34.48 | 33.16 | 29.42 | 26.15 | 18.50 | 8.02  | 22.15  |
| 2003        | 10.85 | 8.11  | 11.84 | 20.59 | 28.39 | 31.48 | 34.79 | 35.80 | 28.90 | 23.58 | 15.68 | 9.67  | 21.72  |
| 2004        | 8.06  | 9.66  | 18.33 | 21.15 | 25.18 | 30.38 | 35.24 | 33.20 | 30.36 | 25.20 | 15.87 | 8.59  | 21.81  |
| 2005        | 8.64  | 9.28  | 14.64 | 21.33 | 25.89 | 29.07 | 35.56 | 34.61 | 28.43 | 21.16 | 15.16 | 12.77 | 21.46  |
| 1983 - 2005 | 8.56  | 10.01 | 14.73 | 20.99 | 26.17 | 30.63 | 34.98 | 34.24 | 29.92 | 23.76 | 16.39 | 10.58 | 21.75  |
| Min Dif     | -3.43 | -4.57 | -4.28 | -2.51 | -3.81 | -3.12 | -2.59 | -2.19 | -2.92 | -2.88 | -3.86 | -4.26 | -3.37  |
| Max Dif     | 2.58  | 3.56  | 5.38  | 5.54  | 2.59  | 1.96  | 3.01  | 2.72  | 3.60  | 3.75  | 3.93  | 3.00  | 3.47   |



## جدول رقم /4/

## درجة حرارة الهواء الأصغرية لمدينة حلب



NASA Surface meteorology and Solar Energy:  
Interannual Variability



Latitude 36.12 / Longitude 37.1 was chosen.

## Minimum Air Temperature At 10 m Above The Surface Of The Earth (°C)

| Year      | Jan   | Feb   | Mar   | Apr   | May   | Jun   | Jul   | Aug   | Sep   | Oct   | Nov   | Dec   | Annual |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1983      | -0.26 | 1.74  | 4.96  | 9.80  | 15.27 | 20.25 | 23.44 | 23.20 | 19.94 | 14.14 | 11.05 | 5.08  | 12.44  |
| 1984      | 4.01  | 3.97  | 7.33  | 9.96  | 15.83 | 19.85 | 23.33 | 21.31 | 20.36 | 14.96 | 9.01  | 2.44  | 12.72  |
| 1985      | 4.38  | 0.65  | 3.54  | 10.65 | 16.34 | 20.28 | 21.95 | 24.90 | 20.26 | 12.70 | 10.61 | 3.25  | 12.52  |
| 1986      | 2.93  | 3.27  | 5.23  | 11.70 | 12.49 | 18.57 | 23.85 | 24.66 | 21.65 | 15.15 | 5.92  | 2.66  | 12.39  |
| 1987      | 2.99  | 4.23  | 2.51  | 8.29  | 14.50 | 19.61 | 23.87 | 23.75 | 19.69 | 13.74 | 7.02  | 4.60  | 12.11  |
| 1988      | 1.93  | 2.94  | 4.53  | 9.28  | 15.06 | 19.05 | 24.01 | 23.84 | 19.68 | 14.36 | 6.24  | 4.48  | 12.15  |
| 1989      | -1.42 | 0.77  | 7.12  | 14.00 | 15.72 | 19.57 | 24.02 | 23.72 | 20.11 | 13.88 | 9.47  | 3.50  | 12.60  |
| 1990      | -0.01 | 1.77  | 5.22  | 10.30 | 15.00 | 20.03 | 24.60 | 22.29 | 19.84 | 15.53 | 10.57 | 4.86  | 12.56  |
| 1991      | 1.07  | 1.33  | 6.29  | 10.40 | 14.57 | 20.51 | 22.76 | 23.33 | 19.56 | 15.25 | 8.51  | 1.77  | 12.17  |
| 1992      | -1.74 | -1.52 | 2.13  | 8.99  | 13.37 | 18.15 | 21.41 | 22.98 | 18.65 | 14.88 | 7.99  | 1.09  | 10.57  |
| 1993      | 0.20  | -0.28 | 3.88  | 9.72  | 12.65 | 19.68 | 23.41 | 23.48 | 19.58 | 16.02 | 5.41  | 5.05  | 11.64  |
| 1994      | 3.75  | 2.94  | 6.53  | 12.17 | 15.86 | 19.80 | 23.25 | 22.55 | 21.94 | 17.65 | 8.74  | 1.32  | 13.10  |
| 1995      | 3.27  | 3.59  | 5.97  | 9.39  | 15.66 | 20.49 | 22.55 | 23.51 | 19.32 | 13.91 | 5.69  | 2.87  | 12.24  |
| 1996      | 2.81  | 3.34  | 5.74  | 9.05  | 16.85 | 20.54 | 25.12 | 23.96 | 18.95 | 13.61 | 10.15 | 6.59  | 13.09  |
| 1997      | 2.51  | 0.19  | 2.22  | 8.28  | 16.50 | 18.99 | 22.76 | 21.96 | 17.58 | 14.65 | 8.92  | 5.15  | 11.72  |
| 1998      | 1.28  | 1.52  | 4.67  | 10.95 | 15.47 | 21.08 | 25.00 | 25.44 | 19.89 | 15.81 | 11.51 | 5.78  | 13.27  |
| 1999      | 3.40  | 3.43  | 5.92  | 9.84  | 15.27 | 18.56 | 23.79 | 22.82 | 18.53 | 14.42 | 7.86  | 4.69  | 12.44  |
| 2000      | 1.19  | 0.78  | 2.63  | 10.56 | 13.58 | 19.89 | 24.95 | 24.11 | 19.23 | 13.85 | 9.15  | 4.18  | 12.04  |
| 2001      | 2.91  | 3.70  | 8.52  | 11.73 | 14.24 | 20.94 | 24.73 | 24.00 | 20.28 | 14.72 | 7.07  | 3.73  | 13.10  |
| 2002      | -0.37 | 3.12  | 6.56  | 9.73  | 14.45 | 20.44 | 23.10 | 22.80 | 19.53 | 15.91 | 9.15  | 1.97  | 12.25  |
| 2003      | 3.97  | 1.34  | 3.04  | 9.71  | 16.05 | 20.11 | 23.33 | 23.67 | 18.92 | 15.36 | 7.70  | 3.54  | 12.30  |
| 2004      | 3.13  | 1.79  | 6.32  | 8.90  | 13.73 | 19.30 | 22.95 | 22.56 | 19.14 | 15.90 | 8.16  | 1.20  | 11.96  |
| 2005      | 1.51  | 2.07  | 4.76  | 10.79 | 14.35 | 18.62 | 23.85 | 23.94 | 19.08 | 12.63 | 6.40  | 4.96  | 11.97  |
| 1983-2005 | 1.89  | 2.03  | 5.03  | 10.18 | 14.90 | 19.75 | 23.57 | 23.42 | 19.64 | 14.74 | 8.36  | 3.69  | 12.27  |
| Min Dif   | -3.63 | -3.55 | -2.90 | -1.90 | -2.42 | -1.61 | -2.16 | -2.11 | -2.05 | -2.11 | -2.95 | -2.60 | -2.50  |
| Max Dif   | 2.49  | 2.20  | 3.49  | 3.81  | 1.95  | 1.33  | 1.55  | 2.01  | 2.30  | 2.91  | 3.15  | 2.91  | 2.51   |





## جدول رقم /5/

## المواصفات الفنية لغطاء حوض السباحة

|  |   |
|--|---|
| Polyethylene Film                        | Dual-Extruded   |
| U.V. Protection                          | 0.9% Additive   |
| Colouring                                | 1% Actual   |
| Thermal Properties                       | Vicat Softening Point (1kg) 93°C<br>Cold Crack - 25°C                           |
| Bubble Diameter                          | 12mm  |
| Bubble Height                            | 4.9mm   |
| No. of bubbles per m <sup>2</sup>        | 5751  |
| 500 microns thickness                    | Bubble Film = 350um +/- 10%<br>Back Film = 150um +/- 10%                        |
| Weight per m <sup>2</sup>                | 460gms +/- 10%  |
| Overall Bubbles Width                    | 2000mm / 2500mm +/- 1%  |
| Welding Edges                            | 30mm +/- 10%  |
| Overall Width                            | 2060mm/2560mm +/- 1%  |
| Roll Diameter                            | 0.80 metres +/- 1%  |
| Roll Length                              | 102 metres +/- 2%   |
| Est.Quantity for 120m <sup>3</sup> truck | 14535/15912 sq.m.   |
| Est. Quantity Containers                 | 4500/11500 sq.m.  |
| Packaging                                | Packaged in Polyethylene bags<br>Core Diameters Internal 76mm/External 80mm     |
| Identification                           | Batch Identification by Q.A. slip<br>and label showing Length, Grade and Weight |

جدول رقم /6/  
الإيصالية الحرارية لبعض المواد

| Thermal Conductivity - $k$ - $W/(m.K)$ |                     | Thermal Conductivity - $k$ - $W/(m.K)$ |                     |
|--|---------------------|--|---------------------|
| Material /Substance                    | Temperature - 25 °C | Material /Substance                    | Temperature - 25 °C |
| Acetone                                | 0.16                | Copper                                 | 401                 |
| Acrylic                                | 0.2                 | Nickel                                 | 91                  |
| Air (gas)                              | 0.024               | Nitrogen                               | 0.024               |
| Aluminum                               | 250                 | Nylon 6                                | 0.25                |
| Aluminum Oxide                         | 30                  | Oxygen                                 | 0.024               |
| Ammonia (gas)                          | 0.022               | Paper                                  | 0.05                |
| Argon (gas)                            | 0.016               | Platinum                               | 70                  |
| Iron, wrought                          | 59                  | Polyethylene                           | 0.288 - 0.4         |
| Iron, cast                             | 55                  | Cotton                                 | 0.03                |
| Magnesium                              | 156                 | Carbon Steel                           | 54                  |
| Mercury                                | 8                   | Epoxy                                  | 0.35                |
| Cadmium                                | 92                  | Freon 12 (gas)                         | 0.073               |
| Carbon                                 | 1.7                 | Freon (liquid)                         | 0.07                |
| Carbon dioxide (gas)                   | 0.0146              | Silver                                 | 429                 |
| Sodium                                 | 84                  | Ice (0°C, 32°F)                        | 2.18                |



|   |       |                  |      |
|---|-------|------------------|------|
| Glass   | 1.05  | Iron             | 80   |
| Gold  | 310   | Steel, Carbon 1% | 43   |
| Helium (gas)  | 0.142 | Stainless Steel  | 16   |
| Hydrogen (gas)  | 0.168 | Water            | 0.58 |
| $1 \text{ W/(m.K)} = 1 \text{ W/(m.}^{\circ}\text{C)} = 0.85984 \text{ kcal/(h.m.}^{\circ}\text{C)}$ $= 0.5779 \text{ Btu/(ft.h.}^{\circ}\text{F)} = 0.048 \text{ Btu/(in.h.}^{\circ}\text{F)}$ |       |                  |      |

رقم /7/

وثيقة نشر بحث في مجلة بحوث جامعة حلب

|  |   |
|--|---|
| الرقم : .....<br>التصنيف : .....<br>الموضوع : .....  | الجمهورية العربية السورية<br>جامعة حلب<br>مجلة البحوث                         |
| حسان نحاس<br>طالب دراسات عليا (ماجستير)<br>قسم هندسة الطاقة<br>كلية الهندسة الميكانيكية — جامعة حلب  | الدكتور أحمد نحاس<br>قسم هندسة الطاقة<br>كلية الهندسة الميكانيكية — جامعة حلب |
| يسرنا إعلامكم أنه تمت الموافقة على نشر بحثكم بعنوان:<br>نمذجة التدفئة الشمسية السلبية لأحواض السباحة المكشوفة<br>في العدد /82/ لعام 2010 من مجلة بحوث جامعة حلب سلسلة العلوم الهندسية<br>علماً أن البحث ورد للمجلة بتاريخ 2010/4/13 وقبل للنشر بتاريخ<br>2010/5/20<br>وتفضلوا بقبول فائق التحية. |   |
| مدير مجلة بحوث جامعة حلب<br>أ.د. محمد نصوح علايا   |   |